



Rapport de stage  
Master Recherche 2<sup>ème</sup> année : Sciences et Techniques  
Mention Biodiversité des Ecosystèmes et Systèmes Tropicaux (BEST)  
Spécialité Biodiversité des Ecosystèmes Naturels (BEN)



## **INTERACTIONS ENTRE LES COMMUNAUTES DE MOUCHES (DIPTERA, TEPHRITIDAE) ET LES PLANTES DANS LES AGROSYSTEMES A BASE DE CHOUCOU (*SECHIUUM EDULE*) A LA REUNION**



Par **Thomas FRANCOIS**  
Janvier-Juin 2009

Direction du stage : **Jean-Philippe DEGUINE\***, Entomologiste-Agroécologue

\*UMR 53 PVBMT (CIRAD) Station de Ligne Paradis 7, chemin de l'IRAT 97410 SAINT PIERRE  
☎ : 02 62 49 92 31 ✉ : [jean-philippe.deguine@cirad.fr](mailto:jean-philippe.deguine@cirad.fr)

Université de la Réunion- Faculté des Sciences et Technologies  
Année 2008-2009



# SOMMAIRE

I-	<a href="#">INTRODUCTION</a>	1
II-	<a href="#">MATERIEL ET METHODES</a>	2
	2.1- Etudes <i>in situ</i>	2
	2.1.1- Sites d'étude et périodes d'observation	2
	2.1.2- Conditions de culture et environnement floristique	2
	2.1.3- Modalités des observations des mouches	3
	2.1.4- Modalités des observations des dégâts	4
	2.2- Etudes au laboratoire	5
	2.2.1- Elevage des mouches	5
	2.2.2- Développement larvaire à partir d'une infestation artificielle d'œufs	6
	2.2.3- Ponte et développement larvaire	6
	2.2.4- Pupaison et émergence d'adultes à partir d'infestations artificielles de larves	6
	2.2.5- Devenir de larves placées dans des fruits	7
	2.3- Analyse et présentation des résultats	7
	2.3.1- Etudes <i>in situ</i>	8
	2.3.2- Tests statistiques	8
III-	<a href="#">RESULTATS</a>	9
	3.1- Bioécologie des mouches en culture de chou chou	9
	3.1.1- Evolution des populations dans le temps	9
	3.1.2- Répartition des populations dans les agroécosystèmes à base de chou chou	10
	3.1.3- Rythmes circadiens	11
	3.1.4- Activités journalières	11
	3.1.5- Structuration des communautés	12
	3.1.6- Cas particulier de la culture au sol	13
	3.2- Observations des dégâts des mouches dans la culture	13
	3.2.1- Piqûres, dégâts et émergence	13
	3.2.2- Etat sanitaire des fruits tombés	14
	3.3- Etudes au laboratoire	14
	3.3.1- Développement larvaire à partir d'une infestation artificielle d'œufs	15
	3.3.2- Ponte et développement larvaire	15
	3.3.3- Pupaison et émergence	16
	3.3.4- Survie des larves	18
IV-	<a href="#">DISCUSSION</a>	18
	4.1- Considérations méthodologiques	18
	4.2- Spécificité des interactions des Mouches des Légumes avec des agroécosystèmes à base de chou chou	19
	4.3- Facteurs influençant ces interactions	21
	4.4- Part des Mouches des Légumes dans les pertes de production de chou chou	22
	4.5- Implications pour la gestion agroécologique des Mouches des Légumes sur chou chou	23
V-	<a href="#">CONCLUSION</a>	25
	<a href="#">REFERENCES</a>	26
	<a href="#">REMERCIEMENTS</a>	29
	<a href="#">ANNEXES</a>	31



Figure 1 : Chouchou (*Sechium edule*)



Figure 2 : Culture de chouchou sous treille à Salazie  
Photo : C. Jacquard (CIRAD)



Figure 3 : Chouchou grimpant sur la structure de la treille  
Photo : C. Jacquard (CIRAD)



Figure 4: Adulte femelle de *Bactrocera cucurbitae*



Figure 5 : Adulte femelle de *Dacus ciliatus*



Figure 6 : Adulte femelle de *Dacus demmerezii*



## I- INTRODUCTION

La Réunion, grâce à ses microclimats variés, présente de nombreuses productions agricoles. La principale culture est celle de la canne à sucre, mais la production de fruits et légumes représente aujourd'hui plus du tiers de la production agricole totale avec environ 94000 t pour 4600 ha (Agreste, 2007).

Le chouchou (*Sechium edule*) (figures 1 à 3) est une cucurbitacée importante culturellement à La Réunion mais sa production est en régression depuis plusieurs années. La production totale annuelle est passée de 4800 t en 2001 à 3000 t en 2006. Depuis 2001, ce sont 5 ha qui disparaissent chaque année. La culture représentait 80 ha en 2005. La principale zone de culture se trouve à Salazie avec 95% de la production réunionnaise. Un autre site traditionnel de production, de quelques hectares seulement, se trouve à l'Entre-Deux (Chambre d'agriculture, 2006 et 2007).

Les Mouches des Légumes (Diptera, Tephritidae, tribu des Dacini), ravageurs importants des cultures (White & Elson-Harris, 1992), seraient une réelle menace pour la production du chouchou (Projet GAMOUR, Appel à projets d'innovation et de partenariat, 2008). Huit espèces de Tephritidae d'intérêt économique sont présentes à La Réunion. Trois espèces (figures 4 à 6) sont inféodées aux Cucurbitacées dont le chouchou (Quilici & Jeuffrault, 2001) : *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett, 1899), *Dacus ciliatus* (Loew, 1901) et *Dacus demmerezi* (Bezzi, 1917) (Orian & Moutia, 1960 ; Etienne, 1972). L'oviposition et le développement des larves à l'intérieur des fruits peuvent provoquer jusqu'à 90% de perte (Vayssières, 1999).

Les méthodes de lutte classiques contre les Tephritidae reposent sur l'utilisation intensive d'insecticides chimiques (Jones & Skepper, 1965 ; Roessler, 1989) mais ceux-ci s'avèrent être inefficaces (Vayssières, 1998). Par ailleurs, cette lutte chimique a de nombreux désavantages comme la destruction de l'entomofaune, le développement de résistance, un coût élevé, ... et peut engendrer des problèmes environnementaux et sanitaires importants (Deguine et al, 2008)

La protection des cultures contre les mouches est aujourd'hui à la croisée des chemins à cause des nombreux risques liés à la lutte agrochimique. Il est nécessaire de développer d'autres pratiques. L'enjeu actuel serait de passer à une démarche de prévention des infestations de mouches, basée sur un fonctionnement plus écologique et durable des agrosystèmes. Cette approche s'appuie sur une gestion agroécologique des communautés végétales (plantes cultivées et non cultivées) et animales (insectes ravageurs, utiles, pollinisateurs) à des échelles de temps, d'espace et de gestion élargies (Deguine et al, 2008). En effet, dans le cas de la gestion de ravageurs, tels les Dacini, la conception d'agroécosystèmes défavorables à long terme au développement des ravageurs et moins vulnérables à leurs invasions, infestations et pullulations repose sur l'élaboration de solutions d'ordre écologique (Lewis et al, 1997). Le CIRAD, en partenariat avec de nombreux acteurs du monde agricole et de gestion des espaces, a conçu un projet de gestion agroécologique des Mouches des Légumes à La Réunion : le projet GAMOUR qui démarre en 2009 (Site du PRPV).



**Figure 7 : Adulte femelle de *Ceratitidis rosa***  
Photo : A. Franck (CIRAD)



**Figure 8 : Localisation des sites étudiés (en bleu)**  
(<http://www.reunionweb.org>)

**Tableau 1: Caractéristiques des parcelles étudiées**

<b>SITE</b>	<b>ZONES (ALTITUDE)</b>	<b>AGRICULTEURS</b>	<b>PARCELLES</b>	<b>SURFACES</b>	<b>OBSERVATIONS DES DEGATS</b>
<b>Salazie</b>	Mare à citrons (850 m)	C.A. Eclapier	SE	1500 m <sup>2</sup>	Oui (émergence et état sanitaire)
	Mare à poule d'eau (700 m)	S. Victoire	SV	1500 m <sup>2</sup>	Oui (émergence et état sanitaire)
<b>Entre-Deux</b>	(440 m)	G. Hoarau	E2A	2000 m <sup>2</sup>	Non
			E2B	2000 m <sup>2</sup>	Oui (état sanitaire)
<b>Saint Paul</b>	Tan Rouge (735 m)	S. Glenac	TR	900 m <sup>2</sup>	Oui (localisation des dégâts)

Au cours des dernières décennies, de nombreux travaux ont été conduits sur la bioécologie des Dacini (Dehecq, 1995 ; Vayssières et al, 1998 ; Vayssières, 1999) mais des lacunes persistent au niveau des relations entre les mouches et la culture de chou chou (Gilles, 2008).

L'objectif principal de cette étude est d'approfondir les connaissances sur la bioécologie des mouches sur chou chou, notamment sur les rythmes circadiens, les activités des mouches, leur localisation, leur développement et sur les dégâts, qualitatifs et quantitatifs, qu'elles provoquent.

Avant et pendant cette étude, plusieurs phénomènes de piqûres sur chou chou de *Ceratitis rosa* (figure 7), une espèce de mouche habituellement inféodée aux cultures fruitières (Quilici & Jeuffrault, 2001), ont été observés (Deguine, communication personnelle, 2008). Un objectif secondaire de l'étude est donc d'acquérir des informations sur le statut de *C. rosa* par rapport au chou chou.

Lors de cette étude, des observations in situ sont menées afin d'étudier la bioécologie et les dégâts des mouches sur la culture de chou chou. Parallèlement, des expériences en laboratoire permettent d'observer le développement des mouches dans le chou chou.

(Un rapport bibliographique portant sur l'état des connaissances du sujet de l'étude a également été rédigé. On peut s'y référer en Annexe 17)

## II- MATERIEL ET METHODES

### 2.1- ETUDES IN SITU

#### 2.1.1- Sites d'étude et périodes d'observation

Les zones de culture du chou chou les plus importantes sont Salazie et, dans une moindre mesure, l'Entre-Deux. Le choix des parcelles étudiées se fait donc principalement dans ces régions. Les parcelles choisies doivent avoir une surface minimale assez importante, être en production au moment de l'étude et ne doivent pas subir des traitements chimiques. Cinq parcelles réparties sur trois sites sont ainsi sélectionnées (figure 8 et tableau 1).

Les parcelles sont étudiées d'octobre 2008 à mars 2009, avec des observations tous les 15 jours ou tous les mois selon les possibilités (Un schéma des parcelles est présenté en Annexe 1)

#### 2.1.2- Conditions de cultures et environnement floristique :

-Parcelle E2A :

Cette parcelle est coupée en deux (sous-parcelles A1 et A2) par un chemin de 3m de large. La culture de chou chou, sur treille, est entourée d'une haie de diverses plantes telles que le bringellier marron (*Solanum auriculatum*), le galabert (*Lantana camara*), l'avocat marron (*Litsea glutinosa*), la margose sauvage





(*Momordica charantia*) au nord, la canne à sucre (*Saccharum officinarum*) et la belle de nuit (*Mirabilis jalapa*) à l'est et une parcelle d'aubergine (*Solanum melongena*) dans le sud.

Cette parcelle est identique à celle étudiée en 2008 (B. Gilles, 2008).

-Parcelle E2B :

Cette parcelle est très proche de la précédente (environ 100m) et la culture du chou chou se fait également sur treille. La parcelle est coupée en trois (B1, B2 et B3) par deux chemins d'environ 3m de large. Cette parcelle ne présente pas de plantes de bordure. Elle est entourée de maisons, d'une route et d'un terrain en jachère.

-Parcelle SV :

Cette parcelle est constituée d'une treille de chou chou. Plusieurs types de culture forment son environnement proche. Au nord se trouve une haie de canne fourragère (*Saccharum officinarum*) alors qu'à l'est, un talus de bringelliers (*Solanum auriculatum*), de bananiers et de vigne marronne (*Rubus alceifolius*) sépare la treille d'une parcelle de manioc (*Mahihot esculenta*) et d'ananas (*Ananas comosus*). La partie sud est envahie par des plantes périphériques et du chou chou « sauvage ». Enfin, à l'ouest, une haie de filaos (*Casuarina equisetifolia*) sépare la parcelle étudiée d'une autre treille de chou chou traitée.

-Parcelle SE :

La culture de chou chou est réalisée sur treille et ne présente pas de bordure. Elle est principalement entourée de chou chou traité chimiquement mais on y trouve également des parcelles de citrouilles et d'agrumes. Des fruits de la passion se développent au sein de la treille par endroits, mais n'entravent pas l'expansion du chou chou.

- Parcelle TR :

Ce site diffère des autres car le chou chou est cultivé directement au sol (plein champ). L'environnement périphérique est composé de plusieurs bringelliers (*Solanum auriculatum*) tout autour, de canne fourragère (*Saccharum officinarum*) à l'est et du fatak (*Panicum L.*) au sud.

### 2.1.3- Modalités des observations des mouches :

#### 2.1.3-1. Critères observés : (Annexe 2 : exemple de fiche terrain)

Les informations notées lors des relevés concernent :

-L'espèce observée

-Le sexe



Figure 9 : Stockage des boîtes en chambre climatique

Photo : T. François (CIRAD)

- La position (sous une feuille, sur une feuille, sur un fruit ou sur une tige)
- L'activité ou le comportement (ponte, repos, alimentation, lek, accouplement)

#### 2.1.3-2. Modalités pratiques :

Les observations de 40 minutes environ débutent à 7h00 et se font toutes les heures jusqu'à 18h00. Pour un site donné, le même chemin est parcouru à chaque relevé et à chaque journée d'observation (Annexe 1 : Schéma des parcelles). Des points d'observation fixes sont repérés sur la parcelle et en bordure.

#### 2.1.3-3. Spécificité des observations :

En présence de bordures particulières autour de la parcelle cultivée, des observations y sont également effectuées. Le nombre de points d'observation et la durée sont fonctions de la superficie à prospecter. Si la végétation est trop dense, seule une observation de la partie extérieure de la bordure est réalisée. Les mêmes critères d'observation sont appliqués sur la culture et la bordure.

Dans la parcelle TR, les chouchous poussent directement au sol. Le repérage des mouches, plus difficile que sous treille, se fait en s'accroupissant au sol de manière à compter les mouches sur et sous les feuilles de chouchou.

#### 2.1.4- Modalités des observations des dégâts :

##### 2.1.4-1. Emergence d'adultes à partir de fruits collectés :

Des chouchous sont récoltés toutes les semaines dans la parcelle SV entre le 16/12/2008 et le 24/02/2009, à raison de 20 fruits chaque semaine répartis de la manière suivante :

- 5 chouchous ramassés au hasard au sol dans la zone non traitée.
- 5 chouchous cueillis au hasard sur la treille dans la zone non traitée.
- 5 chouchous ramassés au hasard au sol dans la zone traitée.
- 5 chouchous cueillis au hasard sur la treille dans la zone traitée.

10 chouchous sont prélevés le 06/01/2009 dans la parcelle SE à raison de cinq fruits au sol et cinq sur treille, tous en zone non traitée.

Ces fruits sont pesés, mesurés et le nombre de piqûres est compté. Les fruits sont ensuite placés dans des boîtes pendant environ un mois en chambre climatique (température de 27°C, photopériode de 12h et humidité relative de 70%  $\pm$ 15) dans l'attente d'émergence de mouches (figure 9). Chaque boîte contient du sable pour permettre la pupaison des larves et est fermée à l'aide de mousseline pour laisser passer l'air et empêcher les adultes émergés de s'échapper. Au bout d'un mois, le nombre de mouches adultes émergées par espèce et par sexe est compté dans chaque boîte.



Figure 10 : Filet dans la parcelle E2B destiné à recueillir les chouchous tombés de la treille

Photo : T. François (CIRAD)

#### 2.1.4-2. Etat sanitaire des fruits tombés

Le but de cette expérience est de savoir si la chute des fruits au sol est due aux piqûres de mouches ou à un phénomène de « shedding » physiologique lié à la surcharge en fruits de la treille.

Pour tester si la chute des fruits est due aux piqûres des mouches, des filets de 2,5m de côté (6,25m<sup>2</sup>) de type anti-oiseaux et de maille assez fine sont disposés sous les treilles de manière à réceptionner les chouchous tombés (figure 10).

Sept filets sont installés chez G. Hoarau (parcelle E2B) et les chouchous tombés sont récoltés tous les quatre jours entre le 29/10/08 et le 09/03/09.

Chez S. Victoire (parcelle SV), cinq filets sont installés et les fruits sont récupérés toutes les semaines du 16/12/08 au 18/02/09.

Enfin, dix filets sont placés chez C.A. Eclapier (parcelle SE) et les chouchous sont récoltés toutes les semaines entre le 16/12/08 et le 15/01/09.

Une fois les fruits ramenés au laboratoire, ils sont pesés, calibrés et le nombre de piqûres est compté. Une dissection des fruits est réalisée pour chercher d'éventuels œufs de mouches afin d'établir si les piqûres correspondent bien à des pontes.

## 2.2- ETUDES AU LABORATOIRE

Des schémas des expériences au laboratoire sont présentés en annexe 3.

### 2.2.1- Elevage des mouches

Les mouches adultes et les larves utilisées lors des différentes études sont issues des élevages du laboratoire d'entomologie du CIRAD. Les mêmes techniques d'élevage sont utilisées pour les quatre espèces de Mouches des Fruits étudiées : *Bactrocera cucurbitae* (Bc), *Dacus demmerezi* (Dd), *Dacus ciliatus* (Dc) et *Ceratitis rosa* (Cr).

Les différentes cages contenant les mouches se trouvent en chambre climatique où l'humidité, la température et la photopériode sont contrôlées. L'alimentation est composée de sucre de canne, d'hydrolysate de protéines et d'eau.

Des pondoires naturels (courgette) ou artificiels (entonnoir troué imprégné d'orange) sont utilisés pour obtenir des œufs. Les œufs, laissés dans le fruit ou mis sur un milieu de culture, se développent en larves qui sont récoltées après un certain temps selon le stade larvaire choisi.

(Les conditions d'élevage sont plus détaillées dans l'annexe 4 : Elevage des mouches)





### 2.2.2- Développement larvaire à partir d'infestation artificielle d'œufs

L'objectif de cette expérience est d'observer le développement des larves après des infestations artificielles de quatre espèces de Mouches des Fruits sur chouchou et courgette.

La courgette est ici utilisée comme fruit témoin.

Pour chaque espèce, trois zones sont creusées artificiellement dans un chouchou et une courgette. Dans chaque zone creusée, 50 œufs sont déposés à l'aide d'un pinceau. Les fruits sont enfin placés dans des boîtes rondes contenant du sable en chambre climatique.

Le lendemain, chaque fruit est disséqué au niveau des infestations et les profils sont observés afin de compter les œufs retrouvés et de noter la présence éventuelle de larves. Deux répétitions sont réalisées.

### 2.2.3- Ponte et développement larvaire

L'objectif est de comparer les potentiels de développement (œufs, larves, pupes) de quatre espèces de Mouches des Fruits (*Bactrocera cucurbitae*, *Dacus demmerezi*, *Dacus ciliatus* et *Ceratitis rosa*) sur chouchou et sur courgette (utilisée comme témoin).

Pour chacune des espèces, 75 mouches (50 mâles, 25 femelles) sexuellement mûres (âgées de plus de 10 jours) sont placées dans une première cage et 75 autres (même proportion) dans une autre.

Les mouches sont ainsi laissées pendant une journée pour permettre leur acclimatation au nouvel environnement et permettre les accouplements. Le jour suivant, les mouches sont mises en contact avec les fruits pour permettre aux femelles de pondre. Pour chaque espèce de mouches, 75 mouches sont mises en contact avec un chouchou perforé et un chouchou intact, et 75 autres sont mises en contact avec une courgette perforée et une courgette intacte. La perforation artificielle des fruits vise à faciliter les piqûres et la ponte.

Après cette phase, plusieurs observations sont envisagées, selon le jour où les fruits sont disséqués : J+1 (observation des œufs), J+3 (observation des œufs et larves), J+6 (observation des larves et pupes). Trois, une et quatre répétitions sont réalisées respectivement pour chaque expériences.

### 2.2.4- Pupaison et émergence d'adultes à partir d'infestations artificielles de larves

L'objectif de cette expérience est de comparer, à partir du nombre de larves déposées dans le fruit, le taux de pupaison et le taux d'émergence d'adultes de quatre espèces de Mouches des Fruits sur chouchou et sur courgette et d'estimer la valeur sélective future des adultes. La courgette est utilisée comme fruit témoin.



Figures 11 et 12 : Plaque 24 puits remplie de morceaux de chou chou et de courgette

Photo : T. François (CIRAD)

Pour chacune des espèces de mouches, le fruit est perforé pour permettre l'infestation artificielle des larves L1 à raison de 10 larves par trou. Le nombre de trous par fruit dépend du poids du fruit (un rapport de 1 L1 pour 4g de fruit est conseillé pour éviter la compétition à l'intérieur du fruit) (Fitt, 1986).

Les larves issues de l'élevage sont transférées dans les fruits à l'aide d'un pinceau. Les fruits sont ensuite placés individuellement dans des boîtes contenant du sable pour permettre aux larves de s'empurger à la fin de leur développement larvaire. Une fois le temps de développement larvaire dépassé (environ 7 jours après l'infestation), le sable contenu dans les boîtes est tamisé et les pupes sont récupérées et comptées.

Le poids des pupes étant corrélé positivement à la fitness (valeur sélective) des futurs adultes (Duyck, 2005), les lots de pupes sont pesés et mis dans les petites boîtes en attendant l'émergence des adultes. Trois semaines après, les adultes émergés sont enfin comptés.

Six répétitions sont réalisées.

### 2.2.5- Devenir de larves placées dans des fruits

L'objectif de l'expérience est de suivre le devenir des larves de quatre espèces de Mouches des Fruits sur chou chou et courgette (utilisée comme fruit témoin).

On utilise ici des « plaques 24 puits ». Il s'agit de boîtes, constituées de 4 rangées de 6 puits (cuvettes), de 9\*13\*3 cm (le diamètre d'un puit est de 2 cm). Ce dispositif permet d'étudier un nombre important de larves en même temps (figure 11 et 12).

Pour chaque espèce, des « plaques 24 puits » sont préparées de la manière suivante. Des flocons de pomme de terre sont déposés au fond de chaque puit pour absorber l'humidité. Dans chaque puits, on place environ 2g de fruit. Ainsi, dans chaque boîte, on dispose de 3 séries de 4 puits contenant des morceaux de chou chou (soit 12 puits) et de 3 séries de 4 puits contenant des morceaux de courgette (soit 12 puits). Ensuite, une larve L1 est déposée dans chacun des puits. Une feuille Canson est enfin placée entre la plaque et son couvercle pour empêcher la larve de sortir du puit.

La survie des larves est suivie dans le temps grâce à des dissections jour après jour. Pour chacune des quatre espèces de mouches, 24 puits de chou chou et 24 puits de courgette sont observés et disséqués pendant quatre jours consécutifs ((J+1, J+2, J+3, J+4).

Cette expérience est répétée deux fois.

## 2.3- ANALYSE ET PRESENTATIONS DES RESULTATS

Seuls les résultats les plus pertinents sont représentés graphiquement.

Les graphiques (sauf si précision) et analyses statistiques sont réalisés à partir du logiciel R (version 2.8.1, R development Core Team, 2008, Vienne, Autriche).





### 2.3.1- Etudes in situ

L'échantillonnage in situ des différentes parcelles étudiées est réalisé de manière à pouvoir comparer les observations : bordure-treille, sol-treille, parcelle E2A-E2B,... Ainsi, les mêmes observations sont réalisées dans toutes les parcelles. Le nombre de points d'observation d'une parcelle dépend de sa superficie mais les résultats sont ramenés à un nombre de placettes identique, de manière à permettre ces comparaisons.

Les données des études sur les rythmes circadiens et sur la répartition des mouches sont compilées, par date, par activité, par espèce, par sexe et par position.

Les résultats portant sur les piqûres, dégâts et émergences sont représentés grâce au logiciel Excel.

### 2.3.2- Tests statistiques

Tous les tests statistiques sont effectués au seuil de 5%. La p-value est une probabilité qui varie entre 0 et 1 et représente la probabilité d'obtenir au hasard un résultat au moins aussi extrême que la valeur réellement observée. C'est une mesure de la preuve que nous avons contre l'hypothèse nulle énoncée lors du test. Cette dernière est rejetée lorsque la p-value est inférieure à 0,05 (c'est-à-dire 5% de probabilité d'obtenir la valeur observée). Dans les résultats, un test est dit significatif (\*) si la p-value est comprise entre 0.05 et 0.01, hautement significatif (\*\*) pour une p-value comprise entre 0.01 et 0.001 et très hautement significatif (\*\*\*) pour une p-value inférieure à 0.001.

#### 2.3.2.1- Structure des communautés

Des tests binomiaux sont réalisés pour comparer les nombres de mouches mâles et femelles présents dans la culture. Soit  $p$  la probabilité pour une mouche d'être une femelle. L'hypothèse nulle ( $H_0$ ) est : les femelles représentent 50% de la population ( $P_0=0.5$ ). L'hypothèse alternative est une plus grande proportion de femelles ( $P_1>0.5$ ).

La prédominance d'une espèce par rapport aux autres est aussi vérifiée grâce à un test binomial. L'hypothèse nulle pour le traitement statistique des résultats est : *B. cucurbitae* représente 50% ( $P_0=0.5$ ) lorsqu'elle est largement dominante, ou 33% ( $P_0=0.33$ ) de la population totale. L'hypothèse alternative est  $P_1>0.5$  ou  $P_1>0.33$ .

#### 2.3.2.2- Etude au laboratoire

##### 2.3.2.2.1- Ponte et développement larvaire

Pour différencier statistiquement les pontes et le développement larvaire d'une espèce en fonction des différentes plantes et de plusieurs espèces sur une même plante et de leur interaction, les moyennes entre

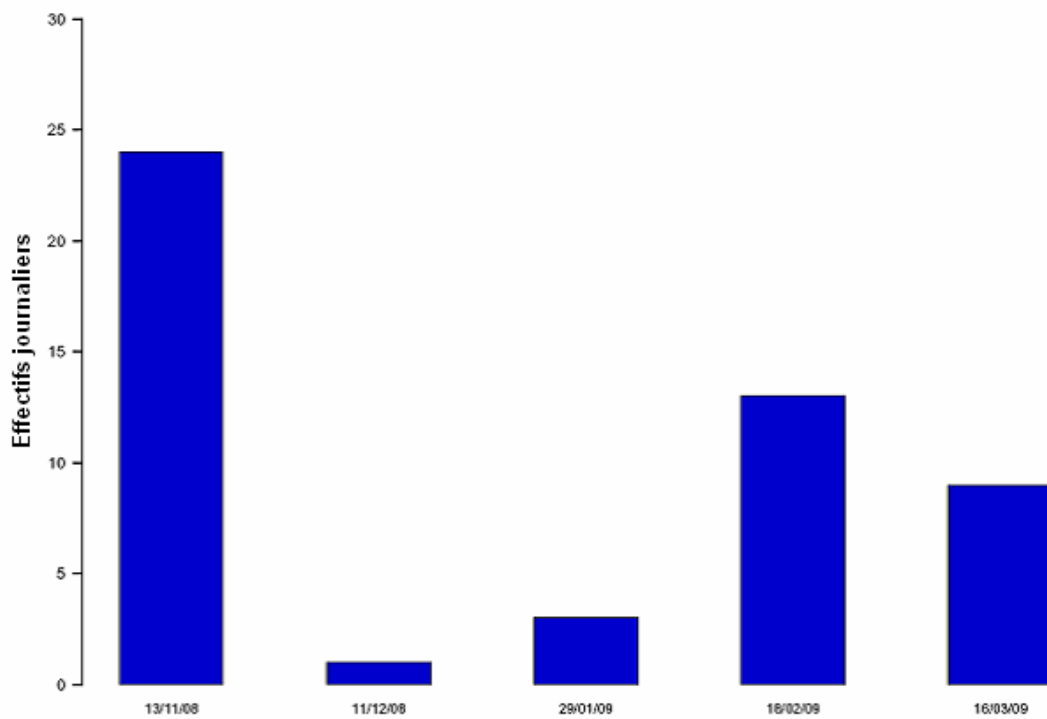


Figure 13 : Evolution des effectifs journaliers dans la parcelle SV

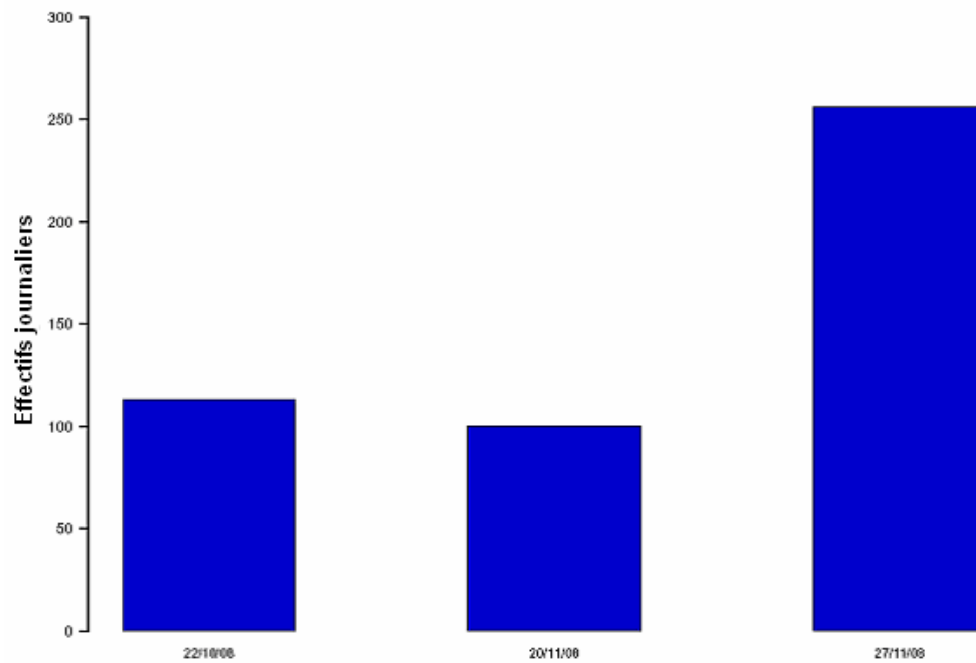


Figure 15 : Evolution des effectifs journaliers dans la parcelle E2A

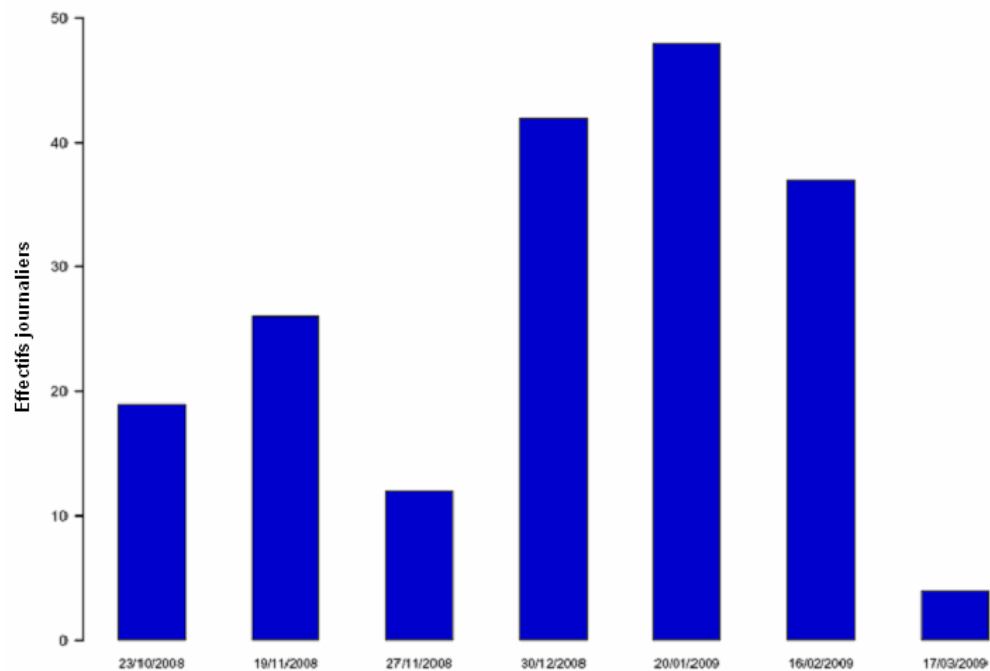


Figure 16 : Evolution des effectifs journaliers dans la parcelle E2B

chaque modalité sont comparées. La première étape consiste en une ANOVA basée sur un test de Fisher-Snédecor pour savoir s'il existe des différences de moyennes significatives d'une modalité à une autre pour chacune des variables. Si des différences sont constatées, la deuxième étape est un test de Tukey de comparaisons multiples des moyennes sur les modalités prises deux par deux afin de relever ces différences.

#### 2.3.2.2.2- Pupaison et émergence et survie des larves

Pour comparer les plantes hôtes pour une même espèce les espèces pour une même plante, différents tableaux de contingence sont analysés par un test exact de Fisher. L'hypothèse nulle correspond à l'égalité des taux de survie ou d'émergence.

## III- RESULTATS

### 3.1- BIOECOLOGIE DES MOUCHES EN CULTURE DE CHOUCOU

Un tableau récapitulatif du nombre et des périodes d'observation des différentes parcelles étudiées est présenté en Annexe 5.

Certaines observations *in situ* n'ont pas pu être menées en continu de 7h à 18h comme prévu dans le protocole, principalement à cause de fortes pluies. De plus, certaines observations sont marquées par de faibles effectifs de mouches, voire même leur absence totale. Dans la suite des résultats, seuls les journées d'observation complètes sont représentées.

#### 3.1.1- Evolution des populations dans le temps

Les figures 13 à 16 montrent l'évolution des effectifs de mouches toutes espèces confondues sur toute la période d'observation.

La figure 13 montre l'évolution sur trois mois des effectifs totaux des mouches sous treille et sur bordure dans la parcelle SV à Salazie. On constate des effectifs très faible tout au long de la période d'étude. L'évolution des effectifs ne suit pas de tendance vraiment marquée.

Par ailleurs, la parcelle SE (figure 14 en Annexe 6) présente beaucoup plus de mouches lors des deux journées complètes d'observation. Les effectifs sont stables et aux alentours de 750 mouches pour les deux dates.

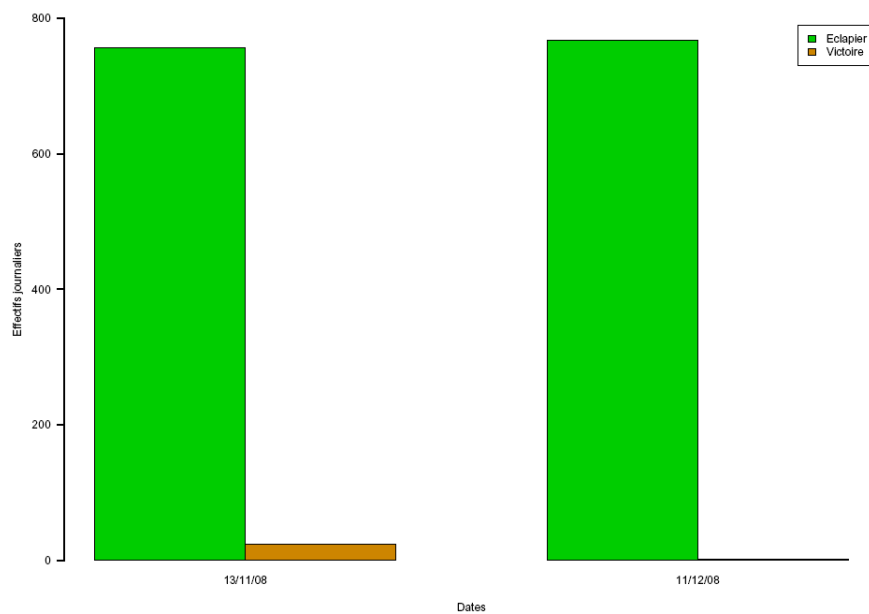


Figure 17 : Différences des effectifs de mouches entre deux parcelles à Salazie

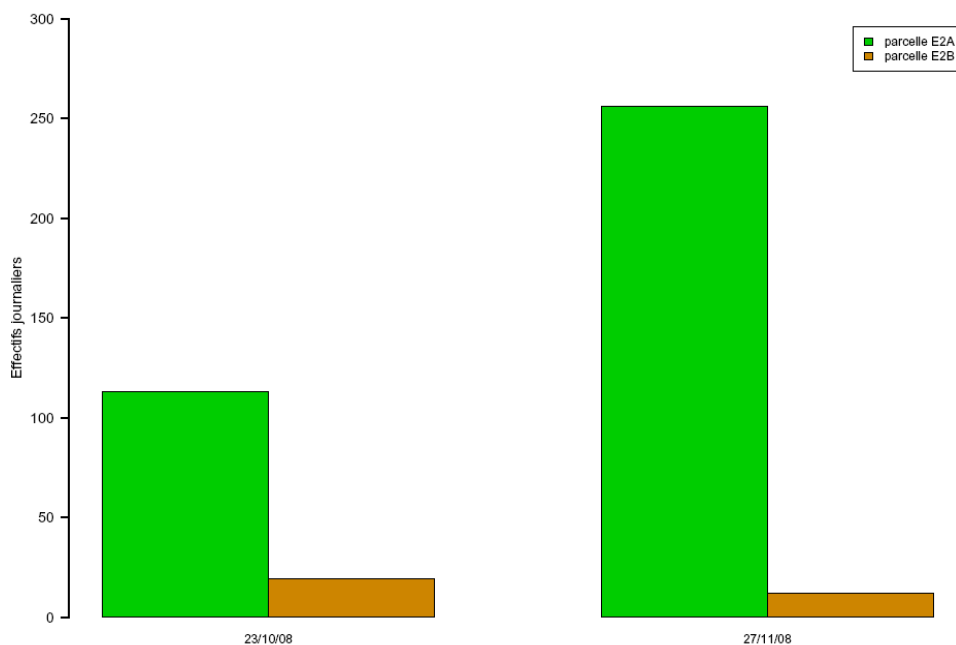


Figure 18 : Différences des effectifs de mouches sur deux parcelles contiguës à l'Entre-Deux

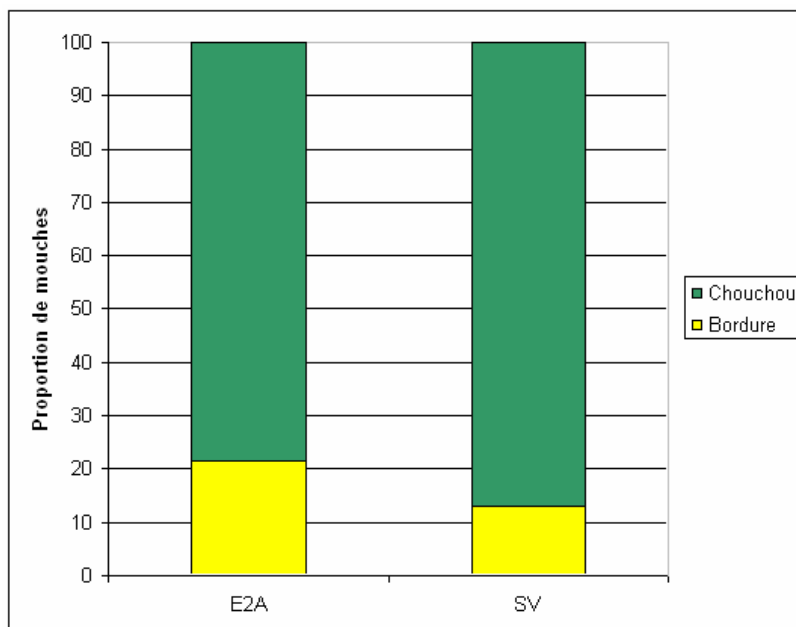


Figure 19 : Répartition des mouches sur bordure et culture de chou chou dans les parcelles E2A et SV

La figure 15 présente l'évolution des effectifs totaux dans la parcelle E2A sur trois dates entre le 22/10/08 et le 27/11/08. Une centaine d'individus sont retrouvés lors des deux premières dates. On observe ensuite une forte augmentation des effectifs le 27/11/08 avec 256 mouches retrouvées.

L'étude in situ de la parcelle E2B s'étend sur cinq mois. La figure 16 montre des effectifs compris entre 20 et 50 mouches par jour pour la plupart des journées. De ces observations, aucun modèle précis d'évolution des populations n'est distinguable, ce qui laisse entendre que plusieurs types de facteurs interviennent (facteurs abiotiques, facteurs biotiques, pratiques culturales,...).

### 3.1.2- Répartition géographique des populations dans les agroécosystèmes à base de chouchou

#### 3.1.2.1- Echelle du paysage

Les deux parcelles de Salazie sont distantes de 2 km environ (Annexe 7 : Distance entre les parcelles à Salazie). Pourtant, elles présentent des degrés d'infestation par les mouches très différents (figure 17). En effet, les mouches sont très nombreuses dans la parcelle SE, autour de 750 pour les 13/11/08 et 11/12/08, alors que dans la parcelle SV, les mouches se font très rares.

#### 3.1.2.2- Echelle de l'agrosystème

La figure 18 présente les effectifs de mouches dans les deux parcelles de l'Entre-Deux pour trois dates. Les effectifs totaux trouvés dans la parcelle E2A sont 4 à 20 fois plus conséquents que dans la parcelle E2B alors qu'elles ne sont séparées que d'une centaine de mètres (Annexe 8 : Distance entre les parcelles à l'Entre -Deux).

Sans prendre en compte les facteurs biotiques et abiotiques, ainsi que les pratiques culturales, les différences observées à l'échelle de l'agrosystème et à l'échelle du paysage prouvent qu'il n'y a pas de pertinence particulière à comparer deux situations différentes de l'île comme Salazie et l'Entre-Deux.

#### 3.1.2.3- Echelle de la parcelle et de sa bordure

La figure 19 montre la répartition des mouches dans la culture et sur les bords des deux parcelles qui présentent des bordures (E2A à l'Entre-Deux et SV à Salazie). Les résultats sont les effectifs cumulés de toutes les espèces pour l'ensemble des dates pour les deux sites considérés. Dans la parcelle E2A, les mouches sous la treille représentent 78% de l'effectif total et elles représentent 87% de l'effectif total à Mare à poule d'eau.



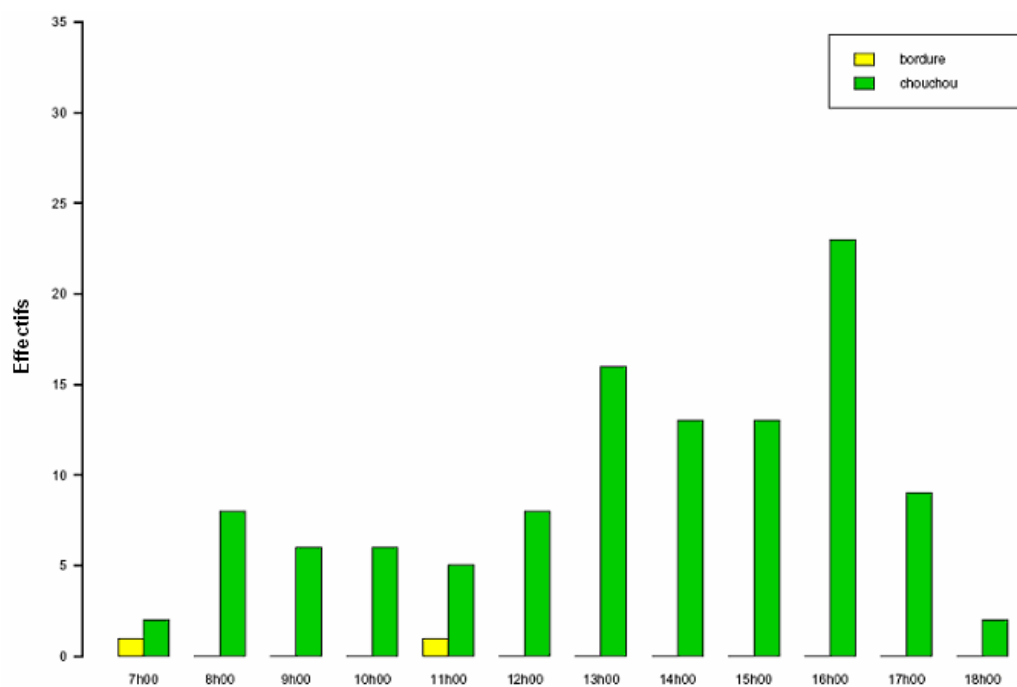


Figure 20 : Evolution des effectifs de mouches sur chouchou et sur bordure  
le 23/11/08 dans la parcelle E2A

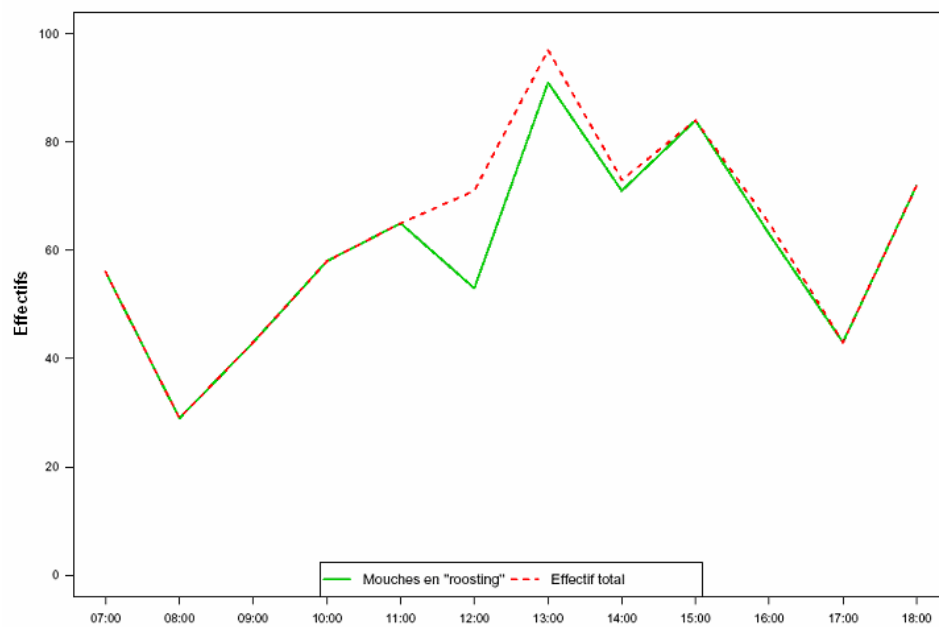


Figure 22 : Evolution du nombre de mouches au repos toute espèce confondue dans la parcelle SE le 13/11/08

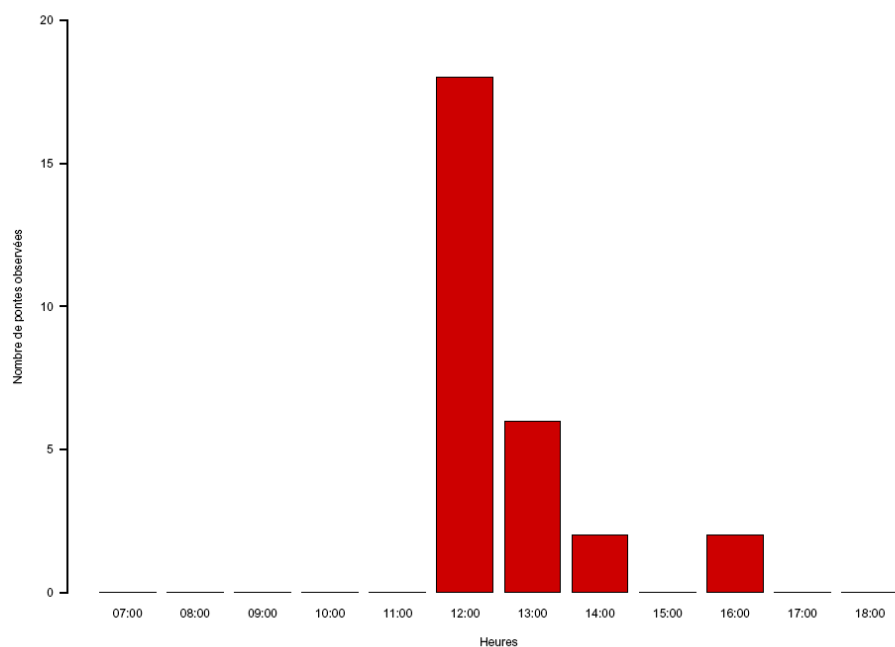


Figure 23 : Evolution du nombre de pontes observées par heure le 13/11/08 toute espèce confondue dans la parcelle SE

*A l'échelle du paysage, et même de l'agroécosystème, deux parcelles peuvent abriter des populations de mouches très différentes, ce qui laisse entendre que différents facteurs interviennent : facteurs abiotiques (température, pluviométrie), facteurs biotiques (état de la parcelle, plantes sauvages et cultivées environnantes), conditions culturales...*

*Même lorsqu'une parcelle est entourée de bordures naturelles, les mouches se situent majoritairement pendant la journée sous la treille (de l'ordre de 80%).*

### 3.1.3- Rythmes circadiens

Les figures 20 et 21 représentent l'évolution des effectifs de mouches dans la parcelle E2A toutes espèces confondues à chaque heure de la journée sur les bordures et dans la culture. Durant la journée du 23/11/08 (figure 20), les mouches sont concentrées à 98% sous la treille. La figure 21 (Annexe 9) présente clairement l'arrivée des mouches sous la treille dans la matinée (vers 8h) depuis la bordure. Ces deux résultats peuvent suggérer que les mouches arrivent le matin dans la culture, y passent la journée et repartent le soir.

### 3.1.4- Activités journalières

Les activités diurnes des mouches sont multiples. Elles peuvent être liées à la reproduction (lek, accouplement et ponte), à l'alimentation (observée très rarement) mais elles concernent principalement le repos ou refuge (« roosting » en anglais). Dans notre étude, d'autres activités inhérentes à cette activité de repos, comme le toilettage, les déplacements courts, y ont été incluses. D'autres activités comme le vol ne peuvent être comptabilisées en pratique.

#### 3.1.4.1- Activités de repos (ou refuge)

La figure 22 montre l'évolution du nombre de mouches au repos par rapport au nombre total de mouches retrouvées sous la treille dans la journée du 13/11/08 dans la parcelle SE. L'activité principale des mouches présentes dans la parcelle de chouchou est bien le repos. La treille représenterait donc, pour les mouches, un abri préférentiel où elles pourraient se réfugier.

#### 3.1.4.2- Pontes

La figure 23 montre les périodes où les pontes ont été observées. Ces pontes sont essentiellement celles de *B. cucurbitae* et sont observées en grande partie entre 12h et 14h. Quelques pontes sont également notées à 16h.

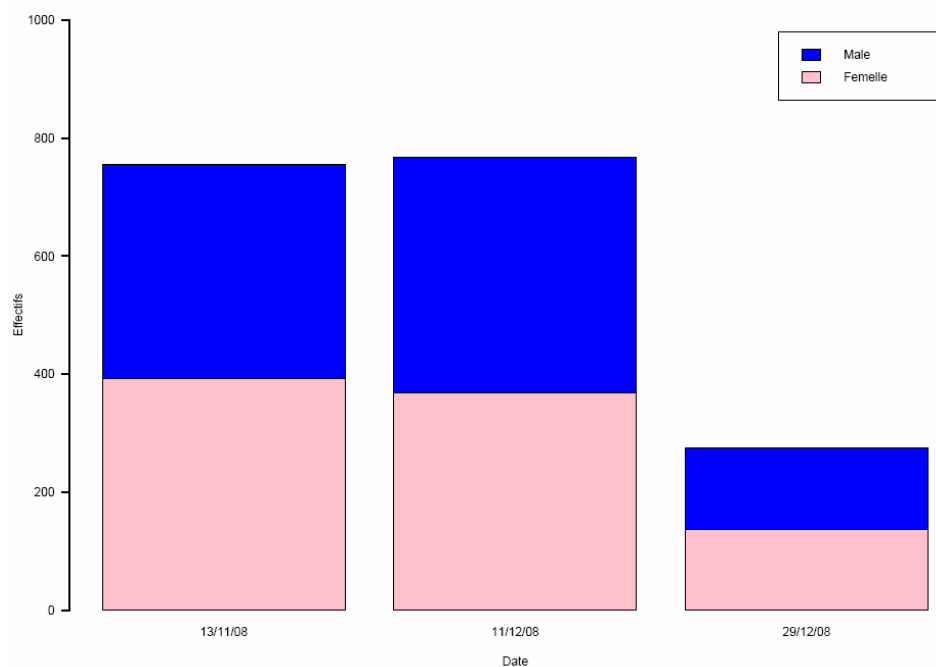


Figure 24 : Evolution du sex-ratio dans la parcelle SE en fonction de la date d'observation

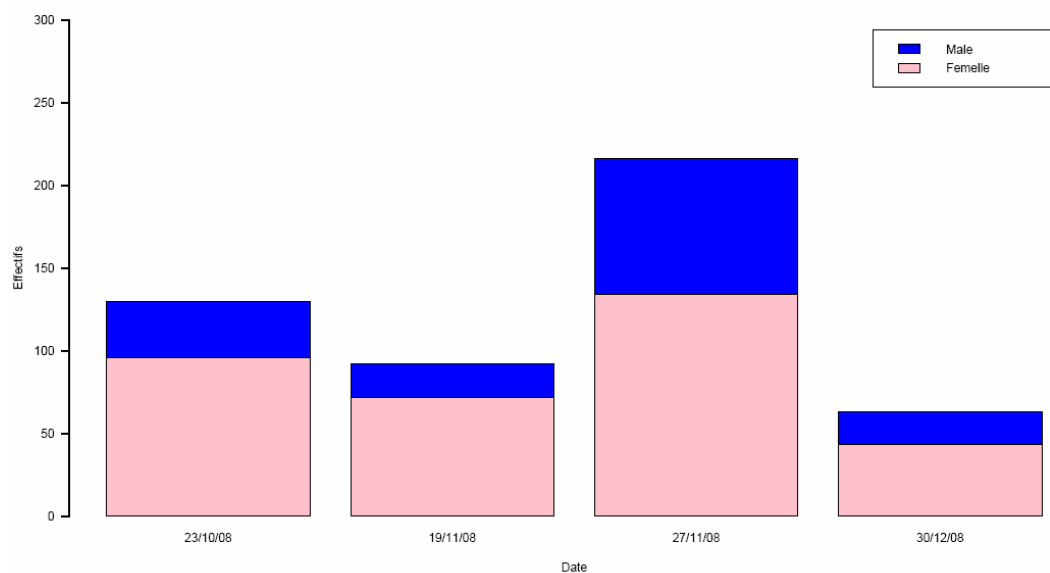


Figure 25 : Evolution du sex-ratio dans la parcelle E2A en fonction de la date d'observation

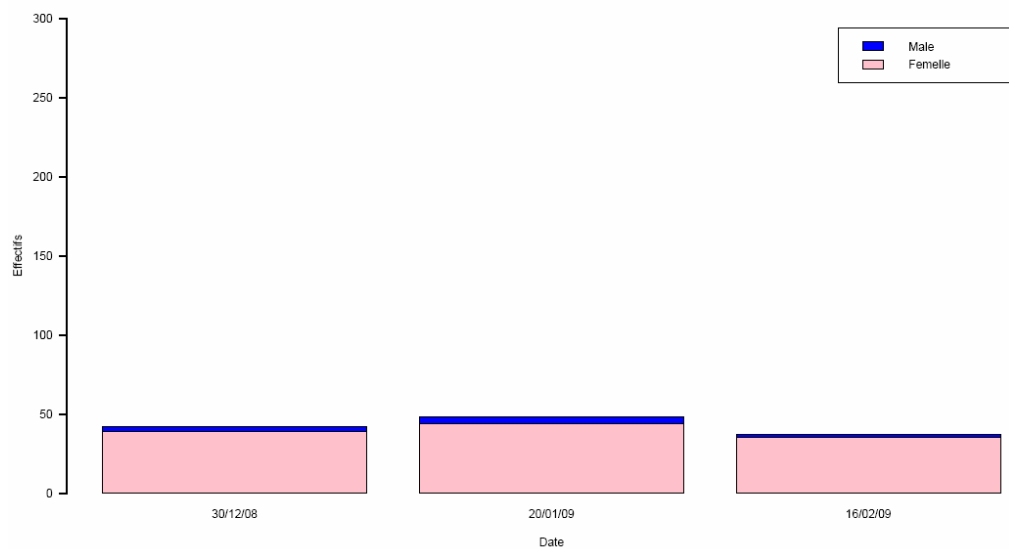


Figure 26 : Evolution du sex-ratio dans la parcelle E2B en fonction de la date d'observation

### 3.1.5- Structuration des communautés

#### 3.1.5.1- Sex-ratio

Dans la parcelle SE (figure 24), pour les trois journées représentées, il y a autant de mâles que de femelles (Test binomial,  $H_0$ = effectifs égaux entre les mâles et les femelles, les p-values sont toutes supérieures à 0.05).

Par contre, dans les parcelles de l'Entre-Deux, la proportion des femelles est très supérieure à celle des mâles (les tests binomiaux montrent tous des différences significatives). Les femelles représentent entre 62% et 78% des effectifs totaux dans la parcelle E2A (figure 25) et plus de 92% dans la parcelle E2B (figure 26).

Il paraît logique de trouver autant de mâles que de femelles sous la treille comme à Mare à citrons puisque la treille est considérée comme un site de repos. Mais le sex-ratio optimal peut varier en fonction des conditions environnementales (Trivers & Willard, 1973; Charnov et al, 1981). La treille représenterait alors un environnement moins propice pour les mâles que les femelles. Les mâles peuvent être aussi plus dispersés que les femelles. En effet, après l'accouplement, les femelles deviennent, en général, sexuellement peu réceptives pendant plusieurs semaines (Fay & Meats, 1983 ; Tzanakakis et al, 1968). Les mâles seraient donc amenés à se déplacer davantage pour trouver d'autres femelles et s'accoupler à nouveau. Néanmoins, le sex-ratio en faveur des femelles à l'Entre-Deux (en moyenne 85% de femelles dans la culture) manque d'explications claires et précises.

#### 3.1.5.2- Proportions des espèces

Les résultats de cette partie sont présentés en Annexe 10.

La figure 27 montre que *B. cucurbitae* domine fortement dans la parcelle SE (à 850m d'altitude). En effet, elle représente 93%, 77% et 81% (respectivement le 13/11/08, 11/12/08 et 29/12/08) de l'effectif total de mouches dans cette parcelle.

*B. cucurbitae* reste l'espèce la plus fréquemment rencontrée dans la parcelle E2A (figure 28) même si elle est moins dominante qu'à Mare-à-citrons. Sa population est significativement plus importante que les autres, elle représente en effet de 43% à 60% des espèces. Par ailleurs, dans cette parcelle, *Dacus ciliatus* est retrouvée dans de plus fortes proportions que précédemment (35%, 25%, 30% et 15% respectivement pour les quatre dates).

Dans la parcelle E2B, les proportions d'espèces sont assez variables (figure 29). Aucune ne semble réellement « s'imposer » malgré la courte distance avec la parcelle E2A. *B. cucurbitae* est légèrement prédominante le 30/12/08 et le 16/02/09 (représentant respectivement 52% et 59% des espèces) mais est

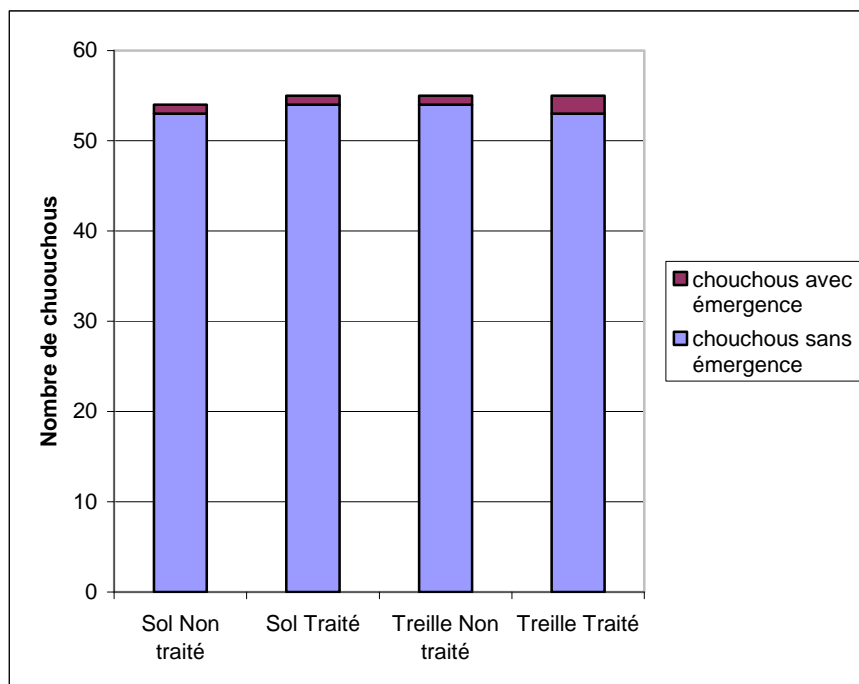


Figure 31 : Proportion de chouchous présentant des émergences ou non en fonction de la situation dans la parcelle SV

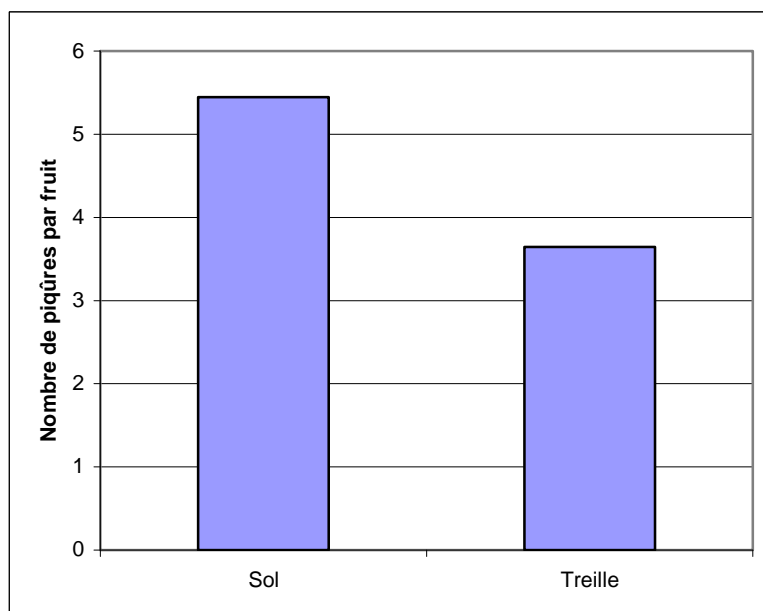


Figure 32 : Nombre de piqûres par fruit selon la position dans la parcelle SV

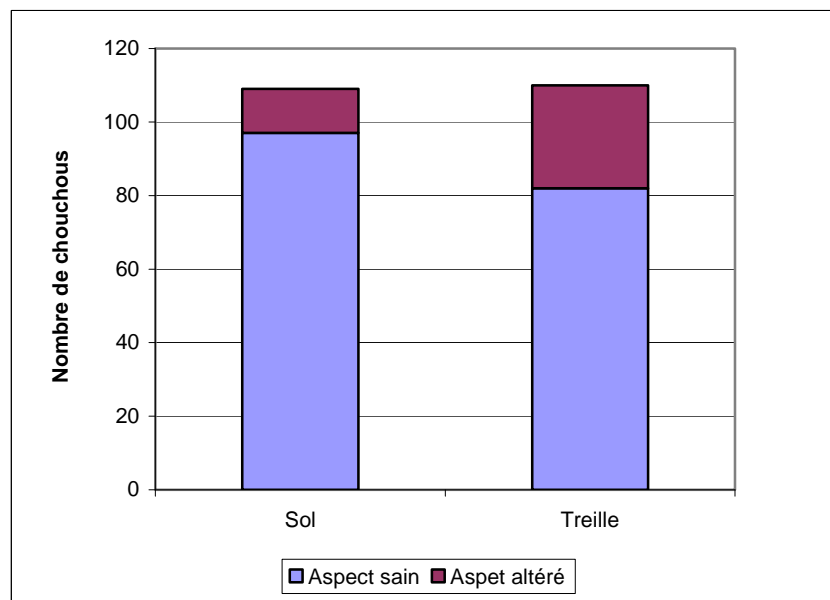


Figure 33 : Qualité du fruit selon la sa position dans la parcelle SV



l'espèce la moins représentée le 20/01/09 (avec 19%). *D. ciliatus* domine le 20/01/09 avec 44% des espèces. De telles variations proviennent sûrement des effectifs assez faibles rencontrés dans cette parcelle. L'arrivée de quelques mouches seulement dans la culture peut provoquer de grandes variations dans la proportion des espèces.

Les faibles effectifs rencontrés dans la parcelle SV ne permettent pas de représenter clairement le sex-ratio et la proportion d'espèces rencontrées dans la culture.

*L'activité principale des mouches sous la treille est le repos. B. cucurbitae est l'espèce majoritaire dans la parcelle de Mare-à-citrons, tout comme dans la parcelle E2A. Les pontes ne concernent pratiquement que cette espèce et sont observées en début d'après-midi. Les femelles et les mâles se retrouvent dans les mêmes proportions à Mare-à-citrons mais le sex-ratio devient fortement biaisé en faveur des femelles à l'Entre-Deux sans qu'on puisse l'expliquer.*

#### 3.1.6- Cas particulier de la culture au sol

L'évolution des effectifs sur chouchou et sur les bordures à Tan rouge pendant la journée du 14/01/09 est présentée par la figure 30 en annexe 11. Très peu de mouches sont retrouvées à chaque relevé. Les mouches sont en très grande majorité situées sur les bringelliers marrons entourant cette parcelle de chouchou. Des résultats similaires sont obtenus pour la majorité des journées d'observations.

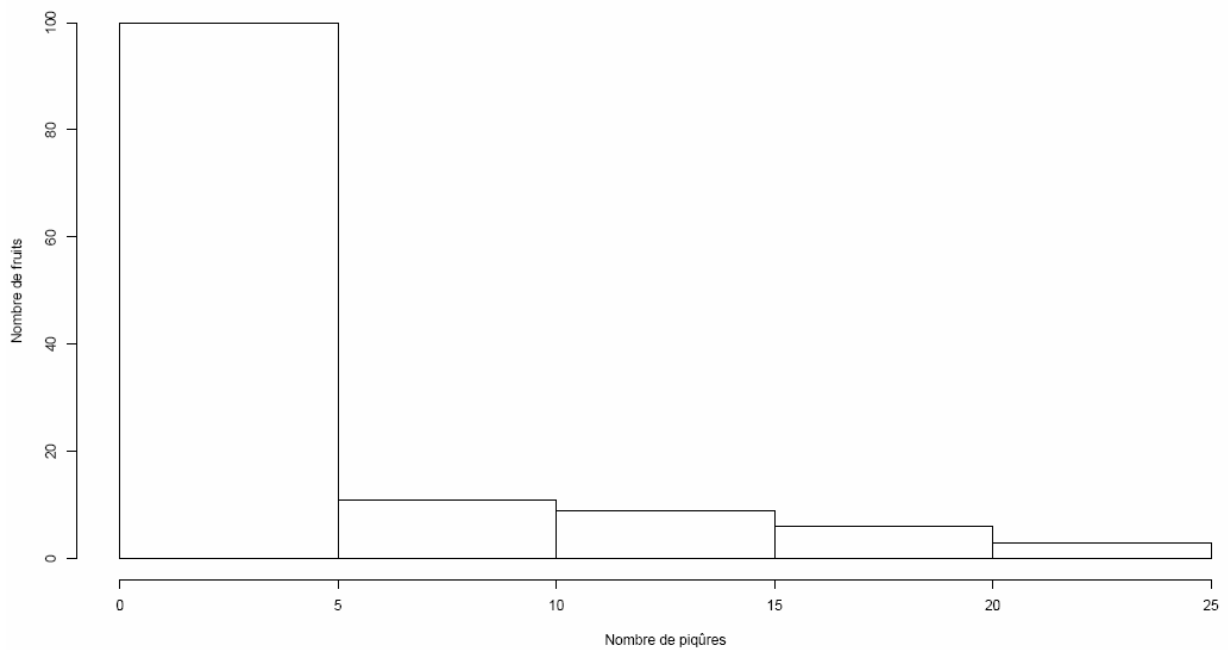
### 3.2- OBSERVATIONS DES DEGATS DES MOUCHES DANS LA CULTURE

#### 3.2.1- Piqûres, dégâts et émergence

##### 3.2.1.1- Nombre d'adultes obtenus à partir de fruits prélevés

Une culture de chouchou sur treille, traitée, est adjacente à la parcelle SV non traitée, mise à disposition par l'agriculteur. Cette configuration permet de comparer l'émergence de mouches dans les fruits selon les quatre types de zones de prélèvement des fruits : sol non traité, sol traité, treille non traitée, treille traitée.

La figure 31 montre la proportion de chouchous présentant des émergences. Seulement cinq fruits sur 219 (2.3%) montrent des émergences d'adultes. Quels que soient la position du fruit et l'utilisation d'un traitement ou non, il y a très peu d'émergence dans les chouchous récoltés. Cela traduit la difficulté des mouches à se développer dans ce fruit. Ce sont en grande majorité (13 mouches sur 14) des mouches de l'espèce *D. ciliatus* qui ont été récupérées.



**Figure 34 : Distribution du nombre de piqûres sur les fruits tombés dans les filets de la parcelle E2B**

**Tableau 2: Infestation des fruits tombés dans les filets**

PARCELLE	Nombre de fruits tombés dans les filets	Nombre de fruits infestés	Pourcentage d'infestation
E2B	142	4 fruits avec œufs 7 avec larves	7,75%
SV	43	1 fruit avec larves	2,33%
SE	12	1 fruit avec oeufs	8,33%
<b>Total</b>	<b>197</b>	<b>13</b>	<b>6,60%</b>



**Figure 36 : *C. rosa* femelle sur chouchou à Salazie**  
(Photo : C. Jacquard (CIRAD))



**Figure 37 : Ponte de *C. rosa* femelle sur chouchou à Salazie**  
(Photo : J.P. Deguine (CIRAD))

#### 3.2.1.2- Nombre de piqûres par fruit

Les chouchous au sol sont plus piqués que ceux sur la treille (respectivement 5,45 piqûres contre 3,65) (figure 32). Cela pourrait indiquer que les piqûres ont lieu après que les fruits soient tombés mais ces résultats présentent de trop forts écarts-types (respectivement  $\pm 4,32$  et  $\pm 3,93$ ) pour pouvoir tirer de réelle conclusion.

#### 3.2.1.3- Etat des fruits prélevés

La figure 33 semble montrer que les fruits d'aspect « altéré », c'est-à-dire des fruits avec de nombreuses piqûres de mouches ou autres (nécroses,...) se trouvent préférentiellement au sol. Cependant, ces résultats sont à prendre avec précaution puisque les notions de fruits sains et de dégâts sont très subjectives.

Le fait d'avoir plus de dommages sur les fruits tombés au sol peut suggérer que les mouches viendraient plus piquer les fruits à terre ou encore que les dégâts seraient dus à d'autres insectes ou d'organismes envahisseurs secondaires. En effet, certains fruits ont vu l'émergence d'autres insectes comme des *Drosophilidae* (drosophiles), des mouches de la famille des *Muscidae* ou encore des *Cecidomyiidae*.

### 3.2.2- Etat sanitaire des fruits tombés dans les filets

#### 3.2.2.1- Nombre de piqûres par fruits tombés dans les filets

La figure 34 montre la distribution du nombre de piqûres sur les fruits tombés dans les filets de la parcelle E2B. Les chouchous sont en majorité très peu piqués (100 sur 197), entre 0 et 5 traces de piqûres par fruit (35 fruits non piqués).

La même observation peut être réalisée sur les fruits tombés dans les filets de la parcelle SV (figure 35 en Annexe 12) puisque la plupart des chouchous portent entre 0 et 10 traces de piqûres.

#### 3.2.2.2- Infestation des fruits tombés

De plus, de faibles pourcentages d'infestation des chouchous sont observés dans les différentes parcelles (tableau 2). Seuls 13 fruits (6.60%) sont infestés par des œufs ou larves sur les 197 récoltés dans les filets de Salazie et de l'Entre-Deux.

## 3.3- ETUDES EN LABORATOIRE

Six événements de ponte de *Ceratitis rosa* sur le chouchou ont été observés dans les parcelles SV et E2B entre le 13/11/08 et le 30/12/08 (figures 36 et 37). Pour acquérir plus d'informations sur son statut par rapport au chouchou, les expériences au laboratoire sont aussi menées sur cette espèce.

Tableau 4 : Résultats de l'expérience : Développement larvaire à partir d'une infestation artificielle d'œufs

Espèce	Fruit	Nombre d'œufs introduits	Nombre d'œufs retrouvés	Nombre de chorions vides	Nombre de larves
<b>Bc</b>	Chouchou	300	103	66	50
	Courgette	300	34	100	69
<b>Dd</b>	Chouchou	300	113	51	6
	Courgette	300	170	26	23
<b>Dc</b>	Chouchou	300	62	49	41
	Courgette	150	28	0	3
<b>Cr</b>	Chouchou	300	113	28	11
	Courgette	300	134	54	0

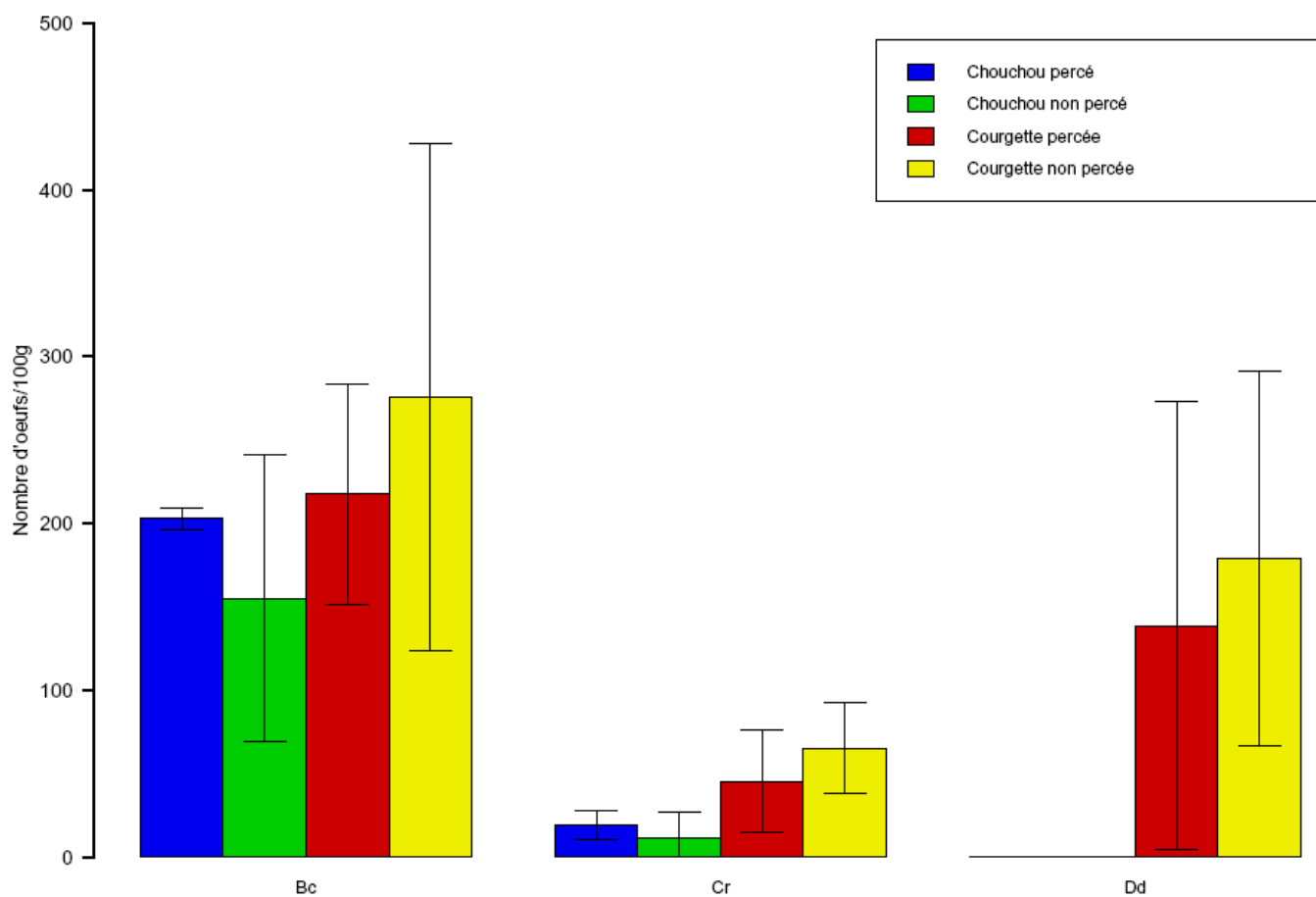


Figure 38 : Potentiel de reproduction à J+1 pour trois espèces

Les résultats obtenus en laboratoire sont à prendre avec précaution du fait du nombre limité de répétitions (tableau 3 en Annexe 13). Les conclusions mises en avant manquent donc de puissance.

Ce nombre limité de répétitions est lié d'une part au fait que les manipulations sont difficiles (avoir pour les quatre espèces de mouches des lots de même taille et de même âge), lourdes et chronophages, et d'autre part que l'objectif premier des études était de réaliser des tests préliminaires de caractérisation, avec une méthodologie que nous avons adaptée au fur et à mesure.

### 3.3.1- Développement larvaire à partir d'une infestation artificielle d'œufs

Le tableau 4 présente les résultats sur le développement des larves dans le chou chou et la courgette à partir d'infestations artificielles d'œufs.

Cette expérience préliminaire permet d'observer des différences entre espèces (les résultats ne sont cependant pas traités statistiquement). Dans le chou chou, deux espèces semblent mieux se développer et donner plus de larves, *B. cucurbitae* et *D. ciliatus*. Dans la courgette, il s'agit de *B. cucurbitae* et *D. demmerezi*. Des larves de *C. rosa* sont également obtenues dans le chou chou.

Cette expérience permet de suivre le développement des larves dans le chou chou mais la méthode utilisée provoque beaucoup de dommages au fruit. Deux répétitions seulement sont réalisées. C'est pourquoi les expériences suivantes sont menées de manière à se rapprocher le plus possible des conditions naturelles.

### 3.3.2- Ponte et développement larvaire

Les résultats des expériences sur la ponte et le développement larvaire (figures 38 et 39) sont représentés par les moyennes du nombre d'œufs (J+1) sur 100g de fruit, de larves et de pupes (J+6) sur 100g de fruit pour chaque espèce et chaque combinaison fruit-état (ils sont percés ou non). Les moyennes ramenées sur 100g permettent de comparer les deux fruits entre eux.

#### 3.3.2.1- Observation des œufs

Cette expérimentation est réalisée sur trois espèces uniquement : *Bactrocera cucurbitae*, *Dacus demmerezi* et *Ceratitis rosa*. Les mouches adultes de *Dacus ciliatus* n'ont pas été en nombre suffisant au moment de l'expérimentation.

La figure 38 montre que les pontes sont plus importantes dans la courgette pour les trois espèces. *B. cucurbitae* pond plus dans les deux fruits et plus que les deux autres espèces. Dans le chou chou, aucune ponte n'est constatée pour *D. demmerezi*. *C. rosa* a par contre pondu dans ce fruit mais s'avère être la moins « prolifique » dans la courgette.

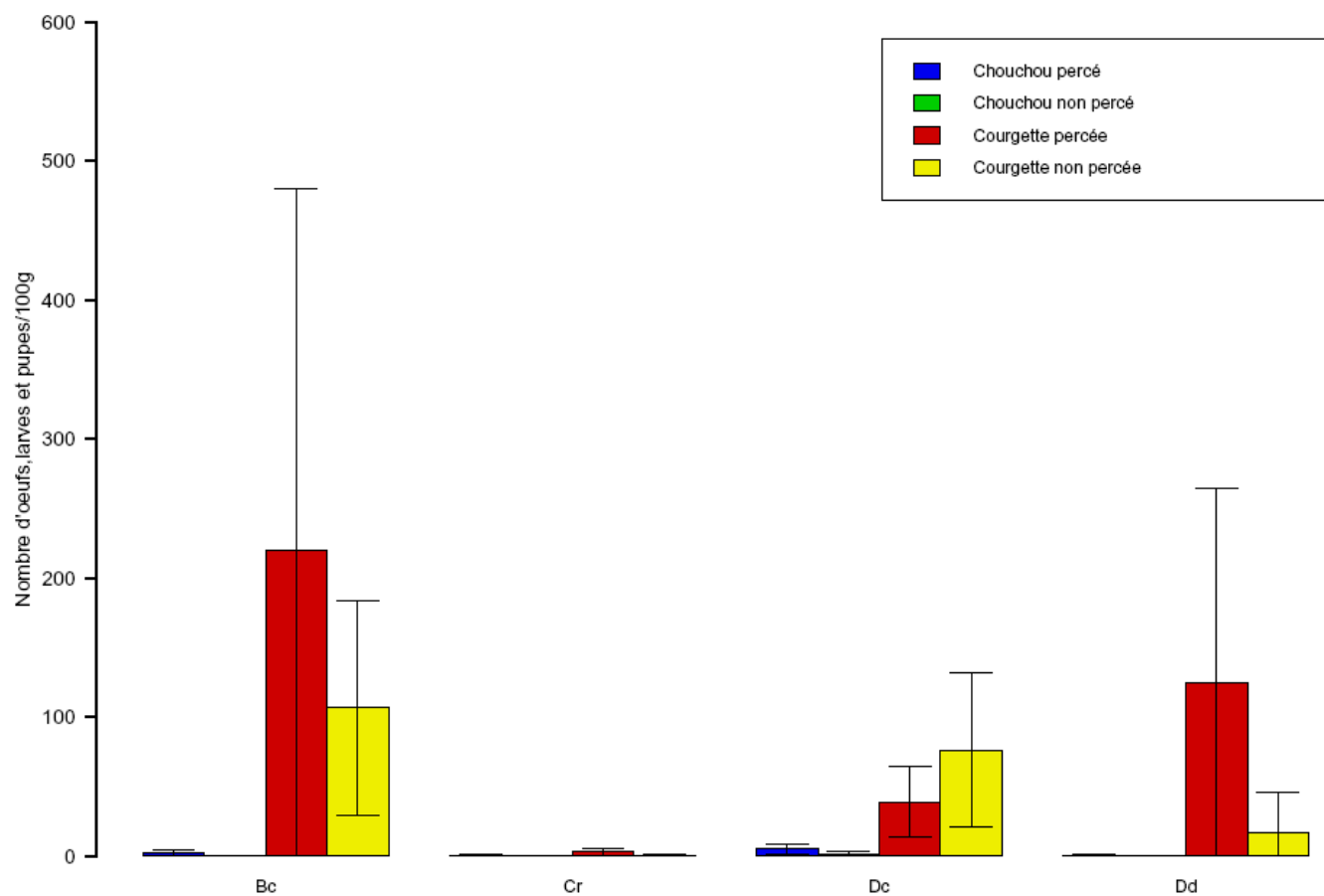


Figure 39 : Potentiel de reproduction à J+6 pour les quatre espèces

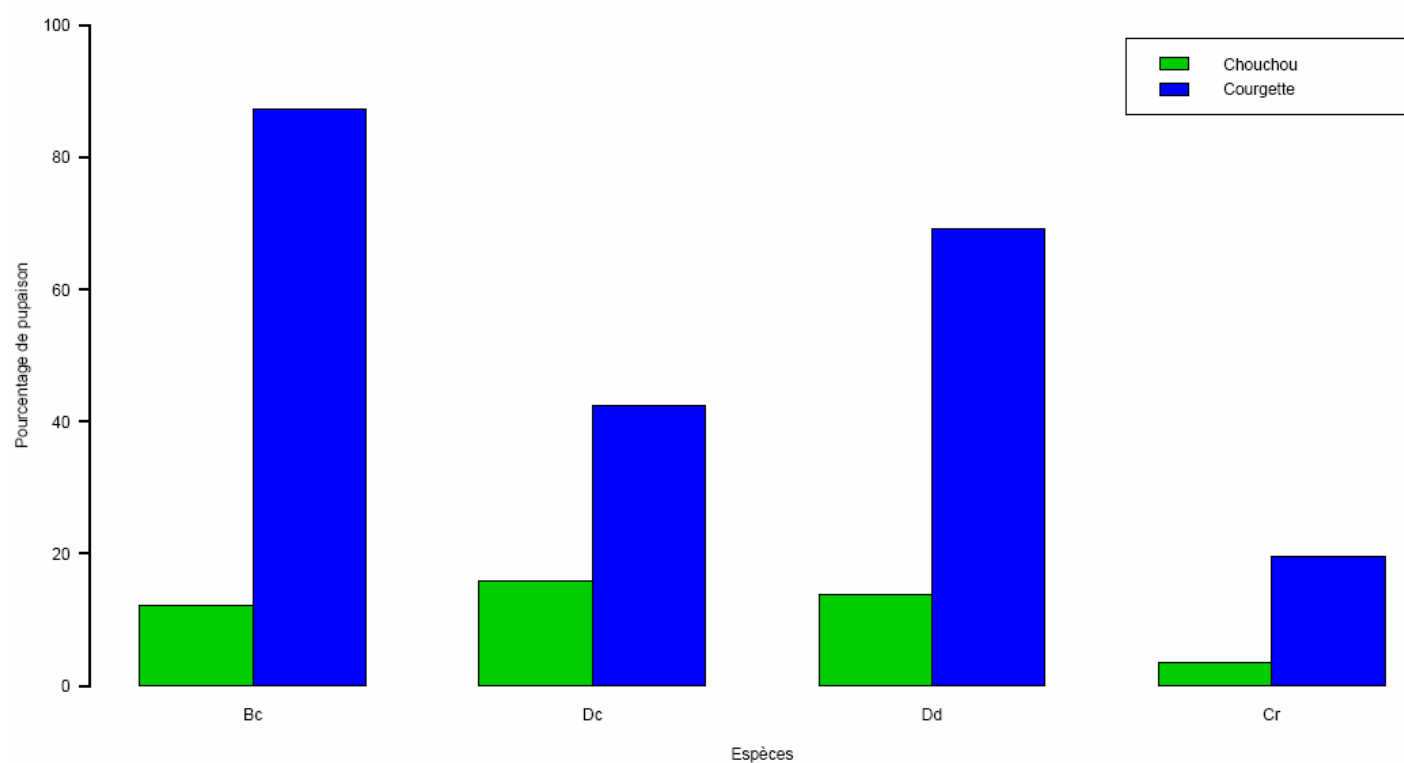


Figure 40 : Pourcentage de pupaison des quatre espèces dans le chou chou et la courgette

Puisqu' aucun œuf de *D. demmerezi* n'a été obtenu sur le chouchou, l'analyse de variance est réalisée sur les quatre supports (les quatre combinaisons de fruits et d'état) pour *B. cucurbitae* et *C. rosa* et sur les deux types de courgette pour les trois espèces.

Graphiquement, *B. cucurbitae* a pondu beaucoup plus d'œufs que *C. rosa* dans les deux types de chouchou. L'analyse de variance pour le chouchou, après transformation des données en racine, montre bien cet effet espèce très significatif ( $p\text{-value} = 7.55e^{-5}$ ). Par contre, l'état du fruit n'a pas d'effet.

L'ANOVA réalisée pour la courgette montre également un fort effet espèce ( $p\text{-value} = 5.54e^{-3}$ ). Le test de Tuckey indique que, pour la courgette, seule la différence entre *B. cucurbitae* et *C. rosa* est significative ( $p\text{-value} = 4.42e^{-3}$ ).

#### 3.3.2.2- Comparaison des potentiels d'émergence et de développement larvaire

Les autres expérimentations consistent à disséquer les fruits trois et six jours après la mise en ponte. Le nombre d'œufs éventuellement présents, le nombre de larves et de pupes sont notés.

Seule l'expérience à J+6 est faite sur les quatre espèces. *Dacus ciliatus* n'est pas disponible au moment de l'expérience à J+3.

L'expérience à J+3 n'a été répétée qu'une seule fois. Les résultats sont donc présentés uniquement en Annexe 14. On retrouve plus d'œufs et de larves de *B. cucurbitae* que les deux autres espèces dans le chouchou et la courgette. Une observation importante est que *C. rosa* a pondu dans les deux fruits, même si elle apparaît comme la moins « prolifique » dans la courgette

D'après la figure 39, les différentes espèces semblent avoir des difficultés à se développer dans les chouchous après 6 jours. Pas d'œufs, de larves et de pupes, ou presque, sont retrouvés dans le chouchou non percé pour les différentes espèces.

Lors de la dissection des fruits, 90% de ce qui est retrouvé sont des larves, quelques œufs et pupes sont comptés. Il n'y a pas de différences significatives entre les espèces sur le chouchou percé mais graphiquement, on retrouve plus d'individus de *D. ciliatus* (environ cinq larves ou pupes) dans ce type de fruit que pour les deux autres espèces. Par ailleurs, il est à noter que quelques larves de *C. rosa* sont retrouvées dans les chouchous percés. L'ordre de développement dans la courgette serait donc : *B. cucurbitae* >> *D. demmerezi* = *D. ciliatus* > *C. rosa*.

#### 3.3.3- Pupaison et émergence

Le pourcentage de pupaison (figure 40) est obtenu en faisant le rapport du nombre de pupes total sur le nombre de larves déposées au total par espèce et par fruit pour toutes les répétitions.

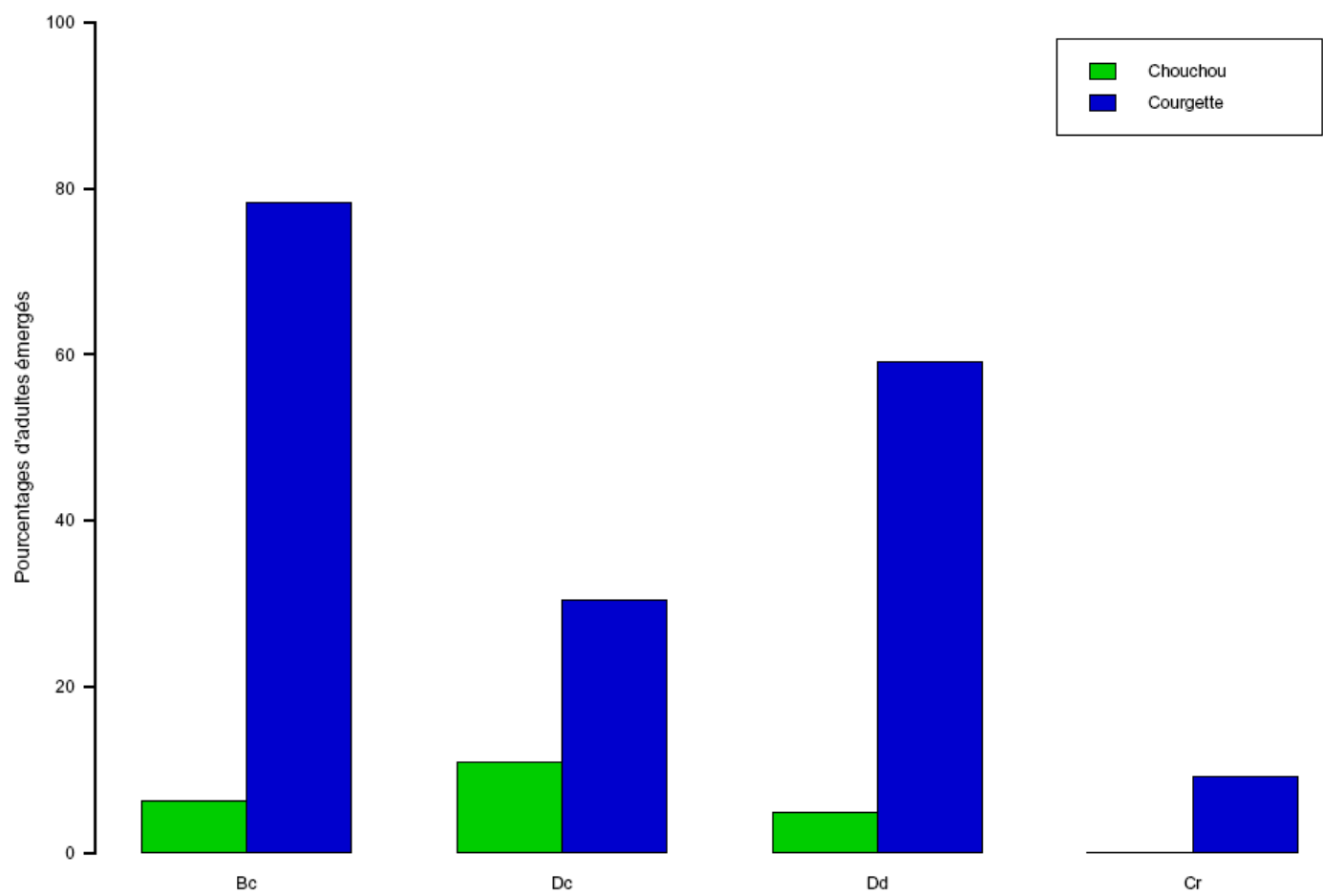


Figure 41 : Pourcentage d'adultes émergés à partir des larves pour les quatre espèces



Toutes les espèces, y compris *C. rosa*, parviennent à s'empurger à partir d'un développement dans le chou chou et la courgette.

Cependant, le pourcentage de pupaison à partir du chou chou est très inférieur à celui réalisé à partir de la courgette pour toutes les espèces (les p-values sont toutes inférieures à  $4.81e^{-11}$ ). En effet, à partir du chou chou, environ 15% des larves pour les Mouches des Légumes et 5% pour *C.rosa* se sont empupées, soit trois à six fois moins qu'à partir de la courgette.

Les différences de taux de pupaison entre espèces à partir de la courgette sont également très hautement significatives (p-values inférieures entre  $6.37e^{-4}$  et  $2.20e^{-16}$ ). *B. cucurbitae* apparaît comme l'espèce s'y développant le mieux. A partir de ce fruit, l'ordre de pupaison est donc : *B. cucurbitae* > *D. demmerezi* > *D. ciliatus* > *C. rosa*.

Dans le chou chou, les Mouches des Légumes ont un pourcentage de pupaison identique (environ 15%). Par contre, *C. rosa* a le plus faible taux de pupaison (5%), différant fortement des autres espèces (p-values <  $6.04e^{-7}$ ).

Les résultats obtenus ayant de trop fortes variances, les conclusions tirées des résultats sur le poids des pupes (annexe 15) sont à prendre avec beaucoup de précaution. Aucun test statistique n'a été réalisé sur le poids moyen des pupes. On peut cependant noter que les pupes de *D. ciliatus* dans le chou chou sont les plus grosses, tous fruits et toutes espèces confondus. On peut donc supposer que les adultes de *D. ciliatus* issus du chou chou ont une meilleure fitness comparés aux autres espèces. Il faut également remarquer que les pupes de *C. rosa* dans le chou chou sont plus lourdes que celles de *B. cucurbitae* et *D. demmerezi* qui présentent des poids similaires. Dans la courgette, ce sont les pupes *B. cucurbitae* qui sont les plus grosses, ce qui est conforme avec les résultats obtenus sur les pontes, le développement larvaire et le taux de pupaison.

Le pourcentage d'émergence d'adultes à partir des larves (figure 41) est obtenu en faisant le rapport du nombre d'adultes total sur le nombre de larves total par espèce et par fruit.

Comme pour le pourcentage de pupaison, le pourcentage d'émergence des adultes à partir du chou chou est très nettement inférieur (10% ou moins) à celui réalisé dans la courgette pour toutes les espèces (p-values <  $1.99e^{-9}$ ). Aucun adulte de *C. rosa* n'a émergé à partir du chou chou, malgré la possibilité d'obtenir une pupe.

Pour la courgette, toutes les différences entre espèces sont significatives (p-values entre  $1.08e^{-3}$  et  $2.20e^{-16}$ ) et *B. cucurbitae* reste l'espèce possédant le meilleur développement. L'ordre d'émergence d'adultes est encore : *B. cucurbitae* > *D. demmerezi* > *D. ciliatus* > *C. rosa*.

*D. ciliatus* semble avoir le meilleur taux d'émergence dans le chou chou (environ 10%) comme le confirme le test exact de Fisher sur les différences entre espèces. *B. cucurbitae* et *D. demmerezi* ont des

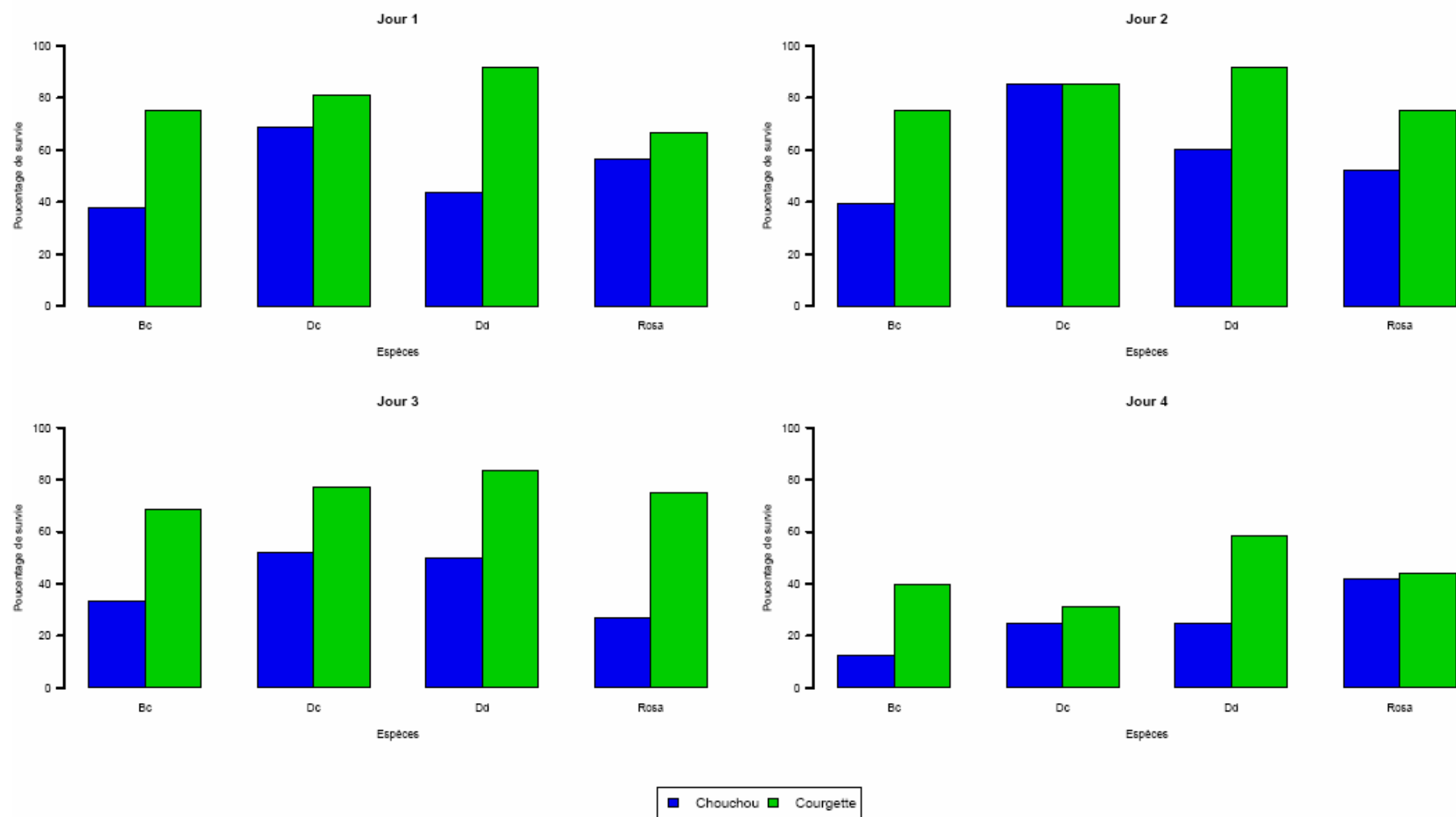


Figure 42 : Survie des larves sur 4 jours après infestation

pourcentages d'émergence comparable. L'ordre des espèces pour le taux d'émergence dans le chouchou est donc : *D. ciliatus* > *D. demmerezi* = *B. cucurbitae* > *C. rosa*.

### 3.3.4- Survie des larves

La figure 42 représente le taux de survie des larves par jour des différentes espèces pour les deux fruits. La survie est calculée en cumulant le nombre de larves survivantes des deux répétitions réalisées.

En règle générale, le développement des quatre espèces est meilleur sur courgette. Cela est surtout vrai pour *B. cucurbitae* et *D. demmerezi* (Annexe 16, tableau 5).

Les quatre espèces ont un développement assez proche dans chaque fruit (Annexe 16, tableau 6). *D. ciliatus* semble quand même avoir une meilleure survie par rapport aux autres dans le chouchou. Cela va dans le même sens que les résultats précédents sur le meilleur développement de cette espèce comparée aux autres dans le chouchou. C'est *D. demmerezi* qui paraît avoir une meilleure survie que les autres dans la courgette.

Ces expériences laissent entendre que *D. demmerezi* a des difficultés à se développer dans le chouchou tout comme *B. cucurbitae*. *D. ciliatus* s'y développe mieux que les trois autres espèces. Par ailleurs, *C. rosa* peut se développer dans le chouchou, même si elle n'est pas connue pour infester ce fruit.

## IV- DISCUSSION

### 4.1- CONSIDERATIONS METHODOLOGIQUES

Beaucoup d'études sur les Mouches des Légumes ont été menées par le passé (Vayssières et al, 1998 ; Vayssières, 1999), mais très peu concernent la culture de chouchou. La méthodologie utilisée pour observer les populations et le comportement des Mouches des Légumes *in situ* est basée sur le protocole réalisé par Brévault & Quilici (2000) sur *N. cyanescens* en culture de tomate. Des études similaires sur le chouchou (Gilles, 2008) et sur d'autres Cucurbitacées (Atiama, 2008) ont permis d'adapter ce protocole aux Mouches des Légumes dans les cultures considérées. Notre étude se base sur ces acquis antérieurs et se propose d'améliorer les investigations sur la bioécologie des Mouches des Légumes en culture de chouchou. Cependant, les protocoles utilisés *in situ*, mais aussi en laboratoire, restent perfectibles.

Au cours de l'étude, certaines observations ont été perturbées par la pluie. Les mouches se réfugiaient de telle manière qu'il était impossible de les repérer facilement lors des relevés. Ensuite, les parcelles SE et E2A n'ont pu être observées pendant toute la période d'étude *in situ*. A Mare à citrons, la parcelle était à



nouveau traitée au début du mois de janvier 2009. La parcelle E2A était quant à elle moins entretenue et devait être replantée en fin d'année. Ces conditions ne nous ont donc pas permis de faire des comparaisons plus poussées entre les différentes parcelles et conditions étudiées.

De plus, les observations sur les bordures se sont avérées moins faciles que celles réalisées dans la culture : la bordure étant accessible uniquement en périphérie, il était difficile de couvrir une superficie aussi grande que celle de la culture.

Enfin, les études au laboratoire ont été très longues et leur mise en place a nécessité une préparation importante afin d'obtenir les œufs, les larves et les adultes de mouches des différentes espèces et ce au même âge, au même moment et en quantité suffisante. Ces contraintes ont contribué au faible nombre de répétitions réalisées et il serait donc important, à l'avenir, de poursuivre de telles observations.

*B. cucurbitae* domine dans la plupart des parcelles présentant des effectifs conséquents. Les conclusions sur la bioécologie des Mouches des Légumes mais aussi sur les dégâts en culture de chou chou concernent principalement cette espèce. Les faibles effectifs parfois rencontrés dans certaines parcelles conduisent également à des résultats difficiles à interpréter et à généraliser.

Enfin et surtout, l'observation des piqûres reste très délicate et subjective. Différents observateurs, expérimentés ou non, n'ont pas la même vision sur ce type de dégâts. Il serait avisé d'élaborer une grille de cotation des piqûres pour diminuer cette variabilité entre observateurs.

Les études devraient être réalisées dans des parcelles où *D. ciliatus* et *D. demmerezii* sont plus représentées afin d'entrevoir la bioécologie des Mouches des Légumes en culture de chou chou plus généralement.

En outre, il serait intéressant d'enregistrer les données pédoclimatiques (luminosité, température, vent, humidité, richesse du sol) pour chaque parcelle afin d'étudier leur rôle éventuel sur l'infestation des cultures.

Les études au laboratoire avaient pour but principal de proposer un panel d'expériences afin de couvrir tout le développement des mouches, depuis la ponte jusqu'à l'émergence de l'adulte. Les techniques ont été mises au point et elles restent encore certainement à améliorer, afin d'augmenter les répétitions (notamment en incluant toutes les espèces considérées) et de diminuer la variabilité des résultats.

## **4.2- SPECIFICITES DES INTERACTIONS DES MOUCHES DES LEGUMES AVEC LES AGROECOSYSTEMES A BASE DE CHOU CHOU**

De nombreuses études ont porté sur la dynamique spatio-temporelle des activités des Dacini dans les systèmes cultivés (Bateman 1972 ; Kawai & Yoshikaru, 1981 ; Vayssières, 1999). Certaines activités sont



étroitement dépendantes de l'interaction des rythmes circadiens internes des adultes et des facteurs abiotiques.

Une particularité importante du comportement des Mouches des Légumes en culture de chou chou est la répartition de ces dernières dans l'agroécosystème. En effet, même lorsqu'il existe des bordures, naturelles ou non, autour d'une parcelle, les mouches se situent pendant la journée à 80% sous la treille. Cela diffère des observations réalisées sur d'autres Cucurbitacées à Hawaï ou à La Réunion : en parcelle de courgette ou citrouille, les mouches se trouvent principalement sur les bordures et les femelles ne viennent dans la culture qu'une partie de la journée afin d'y pondre (Nishida & Bess, 1957 ; Mc Quate & Vargas, 2007 ; Atiama, 2008 ; Petite, à paraître).

Par ailleurs, des mouvements de va-et-vient de la part des mouches sont remarqués entre la bordure et la culture de chou chou. Elles arrivent dans la culture le matin (8h), se reposent sous la treille pendant la journée et repartent vers les bordures le soir (18h). Dans son étude, Gilles (2008) avait remarqué ces mêmes mouvements. D'autres observations de rythmicité ont été faites sur d'autres espèces de Tephritidae comme *Toxotrypana curvicauda* (Aluja et al, 1997) ainsi que *Neoceratitis cyanescens* (Brévault & Quilici, 2000) mais aussi sur *D. ciliatus* et *D. demmerezi* en culture de courgette (Vayssières, 1999 ; Atiama, 2008).

Pendant la journée, l'activité principale des mouches est le repos. La treille réunit donc un certain nombre de conditions préférentielles de séjour pour les mouches. En effet, le choix d'un site refuge (« roosting site ») réside dans plusieurs paramètres : l'ombre et, de manière générale, les conditions micro-climatiques (soleil, vent, pluie), l'abri contre les prédateurs ou encore la nourriture (Nishida & Bess, 1957 ; Vayssières, 1999 ; Mc Quate et al, 2003).

Les autres activités (ponte, accouplement, lek et alimentation) n'ont été que rarement constatées. Les pontes observées concernent principalement l'espèce *B. cucurbitae* et ont été aperçues en début d'après-midi, ce qui est conforme avec les résultats de Gilles (2008). Le même scénario est également observé en culture de courgettes (Atiama, 2008). En revanche, d'après Vayssières (1999), cette espèce peut pondre pendant toute la journée tandis que, selon Nishida & Bess (1957), elle pond plutôt en fin d'après midi. Le comportement de ponte est fortement influencé par la température et l'intensité lumineuse (Nishida et Bess, 1957 ; Kawai & Yoshikaru, 1981). Des stimuli olfactifs, libérés par la plante, peuvent également attirer les femelles vers les fruits et induire la ponte (Fowler, 1977).

Des études ultérieures pourraient être envisagées afin d'apporter des précisions sur les mouvements de mouches le matin (arrivée dans la culture de chou chou) et le soir (départ de la parcelle) mais aussi de définir la localisation et le comportement des mouches pendant la nuit. Des études plus approfondies sur le sex-ratio dans la culture pourraient également être menées, de manière à expliquer ses variations en fonction des conditions.





### 4.3- FACTEURS INFLUENCANT CES INTERACTIONS

A l'échelle du paysage, et même de l'agroécosystème, deux parcelles peuvent abriter des populations de mouches très différentes, ce qui laisse entendre que différents facteurs (dont les facteurs proximaux) interviennent: les facteurs abiotiques (comme la température, la pluviométrie, l'exposition au soleil,...), les facteurs biotiques (l'état de la parcelle, les plantes sauvages et cultivées environnantes, les insectes utiles et les ravageurs,...) ou encore les pratiques culturales (comme le mode de culture, les traitements effectués, le ramassage des fruits tombés,...).

Les parcelles de Salazie à Mare à citrons et Mare à poule d'eau présentent des degrés d'infestation très différents tout comme des conditions biotiques et abiotiques distinctes.

Ensuite, à Mare à citrons, les parcelles environnantes à celle étudiée sont traitées de manière intensive. Les mouches des alentours peuvent trouver refuge dans la parcelle non traitée. Même si la parcelle SE n'est pas traitée pendant l'étude, on ne peut pas exclure que les parcelles avoisinantes l'aient contaminée. L'abus de pesticides non spécifiques peut provoquer la mort des insectes utiles (auxiliaires), souvent plus sensibles, comme les prédateurs ou les parasitoïdes. La diminution de la pression de prédation sur les mouches a pu conduire à l'augmentation de leurs populations. De plus, le développement de résistance chez les mouches dû à l'utilisation intensive de pesticides peut entraîner leur pullulation dans la parcelle SE.

De la même manière, un paysage moins complexe (la culture de chou chou occupe une très grande surface), donc moins diversifié en espèces et notamment en prédateurs, pourrait expliquer les plus forts effectifs constatés.

Les différences constatées entre les deux parcelles de l'Entre-Deux renforcent l'idée que les pratiques culturales jouent un rôle prépondérant dans l'infestation de la culture de chou chou. En effet, ces deux parcelles sont très proches, elles présentent donc des conditions abiotiques et biotiques assez similaires. Les prédateurs et les mouches peuvent rapidement se déplacer entre les deux cultures. *B. cucurbitae* est un bon volier et peut parcourir de longues distances (Miyahara & Kawai, 1979). Seul diffère l'entretien de la parcelle : les chouchous tombés au sol sont moins souvent ramassés dans la parcelle E2A. Or les adultes présents dans la culture sont souvent ceux qui ont émergé des fruits laissés par terre quelques temps auparavant. Les fruits pourrissant au sol sont des foyers d'infestation importants et permettent aux populations de mouches de se maintenir aisément. Dans la parcelle E2B, le ramassage des fruits au sol peut expliquer les faibles effectifs de mouches rencontrés.

Un autre exemple de l'influence des pratiques culturales est la différence d'infestation entre la culture de chou chou sur treille et celle en plein champ (au sol). En effet, les observations réalisées à Tan Rouge montrent très peu d'infestations (environ six mouches par relevé en moyenne uniquement) et encore



moins de dégâts. La culture de chou chou au sol connaît des niveaux d'infestation faibles similaires à ceux de l'île Maurice (Quilici, 2007) et à d'Hawaii (Deguine, 2009, communication personnelle).

De plus, le chou chou présente des cultivars différents (Monnerville et al, 2001). On peut supposer que certaines variétés sont plus sensibles aux infestations de mouches ou encore plus attractives, ce qui influencerait les degrés d'infestation des cultures et expliquerait peut-être les différences entre deux parcelles très proches.

Pour qualifier et quantifier les facteurs influençant l'infestation des cultures de chou chou, des études portant sur les paramètres abiotiques, biotiques et culturels des différents sites pourraient être conduites. L'attractivité et la sensibilité aux piqûres de différentes variétés de choux pourraient être observées facilement en laboratoire ou en cages extérieures.

#### **4.4- PART DES MOUCHES DES LEGUMES DANS LES PERTES DE PRODUCTION DE CHOU CHOU**

*B. cucurbitae* a été l'espèce la plus fréquemment rencontrée dans les parcelles étudiées tandis que *D. ciliatus* et *D. demmerzi* se trouvaient en faibles effectifs, ce qui confirme encore l'étude de Gilles (2008). Ces résultats sont cohérents avec Vayssières (1999) qui avait également trouvé que *B. cucurbitae* était l'espèce la plus représentée sur les cultures de Cucurbitacées de l'île.

Un apport nouveau de notre étude est le statut de *C. rosa* par rapport au chou chou. En effet, cette espèce est normalement inféodée aux cultures fruitières (Quilici & Jeuffrault, 2001), mais des piqûres de ponte ont été observées sur le chou chou *in situ* et son développement larvaire a été confirmé au laboratoire.

Au champ, les cultures de chou chou étaient généralement peu infestées mais de nombreux dommages sur les fruits (piqûres, pourrissement, ...) ont été observés. Au contraire, en laboratoire, les fruits, soumis à de forts taux d'infestation, présentaient peu de dommages. On peut donc se demander si les traces de « piqûres » que nous assimilons à des piqûres de Mouches des Légumes sont vraiment de leur fait. En effet, les fruits tombés dans les filets sont peu piqués et sont très faiblement infestés par des œufs ou des larves.

Les mouches n'apparaîtraient donc pas comme la seule cause de la chute des fruits de la treille. Celle-ci pourrait être également due à un « shedding » physiologique lié à différents stress (stress hydrique, chaleur,...), à la fin du développement du fruit ou encore à la surcharge de la treille en fruits.

Des études sont donc nécessaires pour étudier cette relation infestation/dégâts. Elles pourraient porter, par exemple, sur la comparaison des dégâts en culture très infestée (parcelle SE) et en culture peu infestée (parcelle SV).

Au champ comme au laboratoire, beaucoup de traces de piqûres ont été examinées sur les choux mais peu d'émergences d'adultes ont été observées. Contrairement à *B. cucurbitae*, *D. demmerzi* et *C. rosa* qui



arrivent très peu à se développer à partir du chou chou, *D. ciliatus* apparaît comme l'espèce s'y développant le mieux. Cela rejoint les résultats de Gilles (2008) et de Jacquard (à paraître) qui observent que cette espèce parvient plus fréquemment jusqu'à l'émergence d'adultes.

La difficulté de certaines espèces à se développer dans ce fruit souligne encore le fait que les pertes de production du chou chou constatées en champ ne sont pas forcément dues aux Mouches des Légumes. Un autre point intéressant est que les pertes plus faibles de production sont enregistrées dans les sites les moins traités chimiquement.

Faute de temps, les mécanismes de défense chez le chou chou évoqués par Gilles en 2008 n'ont pas pu être étudiés. Il serait tout de même intéressant de savoir quels mécanismes sont mis en œuvre par le fruit pour lutter contre les mouches et savoir quand et comment leur développement est stoppé.

#### **4.5- IMPLICATIONS POUR LA GESTION AGROECOLOGIQUE DES MOUCHES DES MOUCHES DES LEGUMES SUR CHOUCHOU**

La lutte chimique actuelle contre les mouches en culture de chou chou consiste à pulvériser des pesticides sur la treille mais s'avère inefficace (Vayssières, 1998) et provoque beaucoup de dommages collatéraux. Cependant, le programme SP5 (Surveillance, Prophylaxie, Prédateurs et parasitoïdes, Plantes de bordure, piégeage de masse et Pratiques agroécologiques) mis au point contre les Mouches des Légumes en culture de Cucurbitacées ne convient pas parfaitement à la culture de chou chou et nécessite des adaptations spécifiques.

La surveillance des populations à l'aide de pièges attractifs reste toujours le point de départ des moyens de gestion des ravageurs en culture de chou chou. Même si les parcelles étaient en général peu infestées au moment de l'étude, nous avons vu que de nombreux facteurs pouvaient influencer les niveaux d'infestation.

La prophylaxie constitue le moyen de gestion le plus simple mais le plus important dans ce type de culture. En effet, le ramassage des fruits tombés au sol a des effets marqués et rapides sur la diminution des populations de mouches (Nishida & Bess, 1957). Les fruits au sol sont a priori plus favorables au développement des mouches (action d'autres animaux, nécroses, ...) : de nombreuses espèces, dont *B. cucurbitae*, pondent dans de récentes piqûres de pontes d'autres femelles ou encore dans des blessures du fruit dues à d'autres causes (Prokopy & Koyama, 1982). De plus, les fruits ne tombent pas forcément du fait des mouches et certains fruits, ramassés tôt, sont de bonne qualité.

La lutte biologique de conservation participe à l'augmentation de l'efficacité des ennemis naturels en les élevant ou en les relâchant ou encore en favorisant leur développement (réduction des pesticides, création d'habitat, augmentorium,...).



L'utilisation des plantes de bordure comme le propose le projet GAMOUR n'est pas directement adaptée à la gestion des mouches en culture de chou chou, contrairement aux autres Cucurbitacées. Chez les Cucurbitacées de plein champ, les plantes de bordure plantées autour de la culture supportent en grande partie les populations de Mouches des Légumes. Ces haies sont utilisées comme plantes pièges en combinant un attractif alimentaire avec un bio-pesticide (Spinosad). L'intérêt des bordures dans les agroécosystèmes à base de chou chou n'est donc pas avéré. Les bordures pourraient cependant représenter un lieu de gestion des mouches si elles y passent la nuit. Ce qui semble être le cas mais qui doit être vérifié. Néanmoins, les plantes de bordure, si elles ne sont pas utilisées comme piège, peuvent être des habitats favorables aux prédateurs et parasitoïdes des mouches et représentent ainsi des moyens indirects de gestion des mouches.

Devant les faibles effectifs de mouches rencontrés dans la culture de chou chou, le piégeage de masse à l'aide de paraphéromones se justifie pleinement.

Les pratiques agroécologiques représentent un des points les plus adaptés du projet GAMOUR à la culture de chou chou. La complexification du paysage par ajout de diversité végétale au sein de l'agroécosystème contribue à l'augmentation de la diversité de la faune et notamment des prédateurs et parasitoïdes, mais aussi à l'édification de barrières visuelles pour les mouches, ce qui conduit à la diminution et la dilution des ravageurs (Bianchi et al, 2006). De plus, les associations culturales (« intercropping »), c'est-à-dire le fait d'exploiter plusieurs cultures en même temps, permet encore d'augmenter cette diversité faunistique (Langer et al, 2007). La gestion du paysage est donc un point essentiel pour lutter contre les Mouches des Légumes en culture de chou chou puisque les plantes hôtes, cultivées et sauvages, aux alentours constituent des foyers de reproduction permanents pour les mouches ainsi que des refuges pour les insectes utiles. Vayssières (1999) dresse une liste, certainement non exhaustive, de telles plantes supports : le bringellier (*Solanum auriculatum*), l'avocat marron (*Litsea glutinosa*), le mirabilis (*Mirabilis jalapa*), la margose sauvage (*Momordica charantia*), le longanier (*Euphoria longan*), le litchi (*Litchi sinensis*), le goyavier (*Psidium guajava*) ou encore le ricin (*Ricinus communis*).

Même si l'infestation de la culture de chou chou par les Mouches des Légumes n'atteint apparemment pas encore celles constatées chez les autres Cucurbitacées, les grands principes de gestion des mouches élaborés par le projet GAMOUR peuvent être adaptés au chou chou afin de prévenir d'éventuels dommages.





## V- CONCLUSION

Pour lutter contre les Mouches des Légumes en culture de chou chou, les agriculteurs ne disposent aujourd'hui que d'une seule arme : les pesticides chimiques. Cependant, l'agrochimie pose de très graves problèmes en termes d'environnement, de résistance des ravageurs et de santé publique. Il est donc nécessaire d'approfondir les connaissances sur les relations entre les Mouches des Légumes et le chou chou afin d'élaborer des solutions d'ordre écologique.

Notre étude contribue à l'élargissement des connaissances sur les interactions entre les mouches et les plantes de l'agrosystème à base de chou chou. L'infestation des cultures est influencée par de nombreux facteurs. En effet, les niveaux d'infestation très différents entre les parcelles étudiées montrent le rôle des facteurs abiotiques (température, pluviométrie), biotiques (végétation sauvage et cultivée environnante, insectes utiles, ...) et des pratiques culturales sur les populations de mouches. Les faibles taux d'infestation et les pertes de productions observées *in situ* laissent penser que les Mouches des Légumes ne sont pas les acteurs majeurs des dommages provoqués aux cultures. Ensuite, le faible taux de développement de ces mouches dans le chou chou souligne la « rusticité » de ce fruit, résistant vis-à-vis de ces ravageurs.

Un apport important de notre étude réside dans la dynamique spatio-temporelle particulière des activités des mouches en culture de chou chou. Dans les parcelles étudiées, l'activité principale des mouches pendant la journée est le repos. Contrairement aux autres Cucurbitacées, la culture, réalisée sous treille, réunit toutes les conditions nécessaires pour pouvoir abriter ces populations de mouches au repos. Cette localisation spécifique des mouches dans la treille implique l'adaptation des méthodes de gestion préconisées dans les autres cultures de Cucurbitacées.

La prophylaxie constitue un moyen simple et efficace pour diminuer le risque d'infestation. La surveillance des populations permet d'évaluer les menaces qui pèsent sur la culture avant de mettre en œuvre d'autres dispositifs de lutte. Les pratiques agroécologiques mises en place permettent enfin d'envisager des solutions de gestion plus durables contre les Mouches des Légumes dans cet agrosystème. Dans le futur, il conviendra d'étudier plus précisément les relations entre les populations de mouches et les pertes de production observées dans la culture et de vérifier la contribution d'autres insectes à ces dommages ainsi que les dommages d'origine physiologique. Les mécanismes de défense remarqués par Gilles en 2008 devront également être étudiés précisément afin d'expliquer la « résistance » du chou chou à ces ravageurs. Les mouvements spatio-temporels entre les bordures et la culture de chou chou devront enfin être examinés plus précisément tout comme les activités diurnes et nocturnes.



## Références

- **AGRESTE, 2007.** Mémento statistique agricole. La Réunion (résultats 2006). Direction de l'agriculture et de la forêt de La Réunion.
- **ALUJA M., JIMENEZ A., PINERO J., CAMINO M., ALDANA L., VALDES M.E., CASTEREJON V., JACOME I, DAVILA A.B., FIGUEROA R., 1997.** *Daily activity patterns and within-field distribution of Papaya fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Morelos and Veracruz, Mexico.* Annals of the Entomological Society of America, 90. pp 505-520.
- **APPEL A PROJETS D'INNOVATION ET DE PARTENARIAT, 2008.** *Gestion Agroécologique des Mouches des légumes à La Réunion. Conception, mise au point et transfert en milieu producteur de technologies innovantes dans un cadre participatif. Application à l'Agriculture Biologique.* Dossier finalisé. 37p.
- **ATIAMA T., 2008.** *Interactions entre les mouches des Cucurbitaceae et les plantes de bordures dans les systèmes horticoles de la Réunion.* Rapport de stage en Master recherche 2<sup>ème</sup> année. Université de La Réunion. Saint Denis. 40p.
- **BATEMAN M.A., 1972.** *The ecology of fruit flies.* Ann. Rev. Entomol. 17. pp 493-518.
- **BIANCHI F.J.J.A., BOOIJ C.J.H., TSCHARNTKE T., 2006.** *Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control.* Proc. R. Soc. B 273. pp 1715-1727.
- **BREVAULT T., QUILICI S., 2000.** *Diel patterns of reproductive activities in the tomato fruit fly, *Neroceratitis cyanescens*.* Blackwell Science LD. Physiological Entomology 25, 233-241 pp.
- **CHAMBRE D'AGRICULTURE, 2006 et 2007.** Saint Denis de la Réunion.
- **CHARNOV E.L., LOS-DEN HARTOGH F.U., JONES W.T., VAN DEN ASSEM J., 1981.** *Sex ratio evolution in a variable environment.* Nature 289. pp 27-33.
- **DEGUINE J.P., FERRON P. & RUSSELL D., 2008.** *Protection des cultures : de l'agrochimie à l'agroécologie, concepts et pratiques, application au cotonnier.* Editions QUAE.
- **DEHECQ J.S., 1995.** *Etude du comportement sexuel et de la communication phéromonale chez trois Tephritidae de la Réunion: *Dacus ciliatus* Loew, *Dacus demmerezi* (Bezzi) et *Trirhithromyia cyanescens* (Bezzi).* Mémoire de fin d'études : CESA / ENSAM 41p.
- **DUYCK P.F., 2005.** *Compétition interspécifique et capacités invasives. Le cas des Tephritidae de l'île de La Réunion.* Thèse de doctorat, Université de la Réunion. 93p.
- **ETIENNE J., 1972.** *Les principales Tripétides nuisibles de l'île de La Réunion.* Annales de la société entomologique de France (N.S.) 8. pp 485-491.
- **ETIENNE J., 1982.** *Etude systématique, faunistique et écologique des Tephritidae de la Réunion.* Thèse de doctorat, Ecole Pratique Hautes Etudes. Paris. 100p.
- **FAY H.A.C. & MEATS A., 1983.** *The influence of age, ambient temperature, thermal history and mating history on mating frequency in males of the Queensland fruit fly, *Dacus tryoni*.* Entomol. Exp. Appl. 34. pp 273-276.
- **FITT G.P., 1986.** *The roles of adult and larval specialisations in limiting the occurrence of five species of *Dacus* (Diptera:Tephritidae) in cultivated fruits.* Oecologia, 69. Berlin. pp 133-143.
- **FOWLER A.J., 1977.** *Host-selection in wild and laboratory-culture *Dacus tryoni*.* Honour thesis. Univ. Sydney, Australia. 137p.



- **GILLES B., 2008.** *Bioécologie et dégâts des mouches des légumes (Diptera, Tephritidae) en culture de chou chou (Sechium edule) à La Réunion.* Rapport de Master recherche 2<sup>ème</sup> année, Université François-Rabelais de Tours. 42p.
- **JACQUARD C.** *Structuration génétique des populations et compétition interspécifique au sein du complexe des Dacini (Diptera : Tephritidae) nuisibles aux Cucurbitaceae à l'Ile de La Réunion.* Thèse de doctorat. Université de La Réunion. A paraître.
- **JONES E.L., SKEPPER A.H., 1965.** *Suppression of Queensland fruit fly, Dacus tryoni (Frogg.), Trypetidae (Dip) in Narrendera, New south Wales.* Agric.Gazette N.S.W., 76. pp 501-503.
- **KAWAI A. & YOSHIKARU T., 1981.** *Daily activity rythms of the melon fly, Dacus cucurbitae Coquillett (Diptera: Tephritidae) under laboratory conditions.* Bull. Veg. Ornamental Crops Res. Stn. Jpn. Ser. C5. pp 75-78.
- **LANGER V., KINANE J., LYGKJAER M., 2007.** *Intercropping for Pest Management: The Ecological Concept.* In Ecologically Based Integrated Pest Management (eds O. Koul and G.W. Cuperus). pp 74-110.
- **LEWIS W.J., VAN LENTEREN J.C., PHATAK S.C. & TUMLINSON J.H., 1997.** *A total system approach to sustainable pest management.* Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 94. pp 12243-12248.
- **MAC QUATE G.T., GRETCHEN D.J., CHAIRMAINE D.S., 2003.** *Assessment of Corn Pollen as a food source for two Tephritid fruit fly species.* Environmental Entomology, 32. pp 141-150.
- **MAC QUATE G.T. & VARGAS R.I., 2007.** *Assessment of attractiveness of plants as roosting sites for the melon fly, Bactrocera cucurbitae, and oriental fruit fly, Bactrocera dorsalis.* Journal of Insect Science, 7, Art. 57.13 p.
- **MIYAHARA Y. & KAWAI A., 1979.** *Movement of sterilized melon fly from Kume Islands to the Amani Islands.* Appl. Entomol. Zool. 14. pp 496-497.
- **MONNERVILLE K., BOC Y., JEAN-CHARLES O., DORNIER M., REYNES M., 2001.** *Principales caractéristiques de Sechium edule Sw.* Fruits 56. pp 155-167.
- **NISHIDA T. & BESS H.A., 1957.** *Studies on the ecology and control of the melon fly Dacus (Strumeta) cucurbitae Coquillett (Diptera Tephritidae).* Technical Bulletin N°84. Hawaii Agricultural Experiment Station.
- **ORIAN A.J.E. & MOUTIA L.A., 1960.** *Fruit flies (Trypetidae) of economic importance in Mauritius.* Revue Agricole et Sucrière de l'île Maurice. 39. pp 142-150.
- **PETITE A.** *Interactions entre les Mouches des Légumes (Diptera : Tephritidae) et les plantes pièges incorporées (Zea mays) dans les systèmes horticoles réunionnais.* Rapport de stage de Master 2 professionnel. Université de Rennes 1. A paraître.
- **PROKOPY R.J. & KOYAMA J., 1982.** *Oviposition site partitioning in Dacus cucurbitae.* Entomol. Exp. Appl. 32. pp 428-432.
- **QUILICI S. & JEUFFRAULT E., 2001.** *Plantes-hôtes des mouches des fruits : Maurice, Réunion, Seychelles.* (Texte : E. Blanchard, F. Lustenberger et S. Dupuis ; photos : A. Franck). Publ. PRMF / COI, Imp. Graphica (La Réunion). 227 p.
- **QUILICI S., 2007.** *End of mission report for "Feasability Study for the Suppression of the Melon Fly (Bactrocera cucurbitae) in Selected Areas of Mauritius".* Department of Technical Cooperation. 20p.
- **ROSSLER Y., 1989.** *Insecticidal Bait and cover sprays.* In "Robinson A.S and Hopper G [eps.], Fruit flies, their biology, natural enemies and control. Elsevier, Amsterdam". pp 329-336.



- **TRIVERS R.L. & WILLARD D.E., 1973.** Natural selection of parental ability to vary the sex ratio of offspring. *Science* 179. pp 90-92.
- **TZANAKAKIS M.E., TSITSIPIS J.A., ECONOMOPOULOS M.E., 1968.** *Frequency of mating in females of the olive fruit fly under laboratory conditions.* J Econ. Entomol. 61. pp 1309-1312.
- **VAYSSIRES J.F., COUBES M., CAREL Y., 1998.** *Comparison of some demographic parameters of three dacini species in Reunion Island: life-span on three host-plants (1er part).* In : *International Symposium of Fruit Flies of Economic Importance.* 50. Saint-Pierre: CIRAD-FLHOR, 6 p.. International Symposium on Fruit Flies of Economic Importance. 5, 1998-06-01/1998-06-05, Penang, Malaisie.
- **VAYSSIERES J.F., 1998.** *Enquête sur les ravageurs (insectes et acariens) des cultures maraîchères et leurs auxiliaires (insectes et acariens) à La Réunion.* Programme Poséidonm Phytosanitaire 1997. CIRAD-Réunion. 13p.
- **VAYSSIERES J.F., 1999.** *Les relations insectes-plantes chez les Dacini (Diptera-Tephritidae), ravageurs des Cucurbitaceae à la Réunion.* Thèse de doctorat, Muséum d'Histoire Naturelle de Paris. 205p.
- **WHITE I.E. & ELSON-HARRIS M.M., 1992.** *Fruit flies of economic significance: their identification and bionomics.* CAB. International, Wallingford. 601p.

Autres :

**-Gestion Agroécologique des Mouches des Légumes à La Réunion.** Conception, mise au point et transfert en milieu producteur de technologies innovantes dans un cadre participatif. Application à l'Agriculture Biologique. Appel à projets d'innovation et de partenariat 2008. Dossier finalisé.

[-http://www.prpv.org/index.php/fr/actualites/gamour\\_contrer\\_les\\_mouches\\_sur\\_legumes\\_sans\\_pesticide](http://www.prpv.org/index.php/fr/actualites/gamour_contrer_les_mouches_sur_legumes_sans_pesticide)





## Remerciements

- Un grand merci à Jean-Philippe Deguine pour son encadrement nickel, ses conseils et recentrages, pour m'avoir mis des coups de « pression » de temps en temps pour que j'avance un peu plus vite et aussi pour son soutien indéfectible aux moments de fatigue et/ou de découragement.

-Révérence à Toulassi parce qu'en plus d'être fine, elle gère à peu près tout et n'importe quoi, c'est toujours appréciable d'avoir une telle voisine de bureau. Un grand merci pour les relectures, corrections, aides au labo et en tout genre, ...et pour son costume de schtroumpfette sur le terrain.  
Quand je serais grand je voudrais être comme Toulassi.

-Salut à Cathy pour sa bonne humeur au labo, son aide et ses chansons débiles (dont j'étais souvent l'initiateur), pour sa minutie dans la lecture de mon rapport et le temps qu'elle y a consacré, et aussi pour sa voix de toon.

-Coucou à Elisabeth, la touche glamour dans le projet GAMOUR, toujours prête pour aller sur le terrain (sauf peut-être quand il pleut !).

-Who's faster? ... the Wind Rider alias Kool Shen, Santini ou Aubéri. Merci pour son aide sur le terrain et au labo, sa persévérance même quand y' avait rien à chercher sous ces satanées treilles de chouchou. Mais je ne la remercie pas pour m'avoir relégué, presque sans effort, loin derrière elle quand on allait courir. Ce terrain là n'était vraiment pas celui d'El Torpillo (haha).

-Merci à Cédric « ti pat' » pour son aide sur le terrain, au labo et pour ses quizz musicaux des années 60 à 90. Va falloir penser à renouveler le Juke Box.

-Salut à Moutou que rien n'affole, parce qu'il garde le sourire en toute circonstance, pour ses yeux de lynx sur le terrain et ses petites blagues. Je n'oublie pas les sessions dissection-infestation de chouchou/courgette terminées à la nuit tombée.

-Clin d'œil à Anabel ou Rahan, parce qu'elle arrive avec sa .... et son couteau, pour plein de bonnes choses au CIRAD et ailleurs, surtout parce qu'on a bien rigolé cette année et parce qu'elle va me manquer. Et gros bisous espèce de tête de mule !!!  
Je cherche encore le surnom approprié pour le plus explosif des volcans (ça c'est classe) !!!!

-Merci au camarade Serge Quilici pour ses conseils sur les manip' labo.

-Salutation à Jim, même si je l'ai pas mal embêté avec ces histoires de mouches, larves, courgettes,... et j'en passe, c'est un sacré chef qui est tout le temps de bonne humeur et blague toujours un peu à gauche et à droite.  
Au passage, j'aurais besoin des 3000 L1 de rosa pour le premier dimanche du mois d'août...

-Merci à Serge G. pour les conseils au labo, le café et le chocolat à Tan Rouge, pour les conseils culinaires distillés à Anabel (certains ont été mis en pratique !).

-Courbette devant Fred : après les cours à la fac, la formation et l'aide qu'il a toujours proposé, je me demande encore comment il fait pour garder le sourire et être patient devant notre misère sous R. J'ai quand même fini par réussir à me débrouiller.

-Christopher pour ses conseils sur les expériences au labo, le zouk love et R'n'B chantonnés, ...et surtout pour sa gentillesse.



-Super Chinois (Romuald Don Chan, Knaki Chan, Yao Ming, Diiiiirk ou Kiiirk... qui a plusieurs noms selon les anciennes légendes) parce que c'est Super Chinois tout « simplement » et pour les soirées baskets de foliiiiiiiie, rendez-vous en un dimanche en décembre 2012!

Quand je serais grand, je voudrais aussi être comme Super Chinois.

-Merci au deux Vincent et à Catherine pour leur aide sur le terrain

-Merci aux agriculteurs S. Victoire, C.A. Eclapier, G. Hoarau pour avoir mis à disposition des parcelles de chou chou et mis en place des endroits ombragés pour les siestes entre les relevés.

-Salut à Chantal pour m'avoir donné des sous pour aller acheter des légumes et pour tout l'organisation, papiers de stage, maison, ...

-Enfin La Baraka même si j'ai épuisé presque toutes les possibilités de sandwiches et assiettes, ...le calcul mental est toujours de mise après le repas.

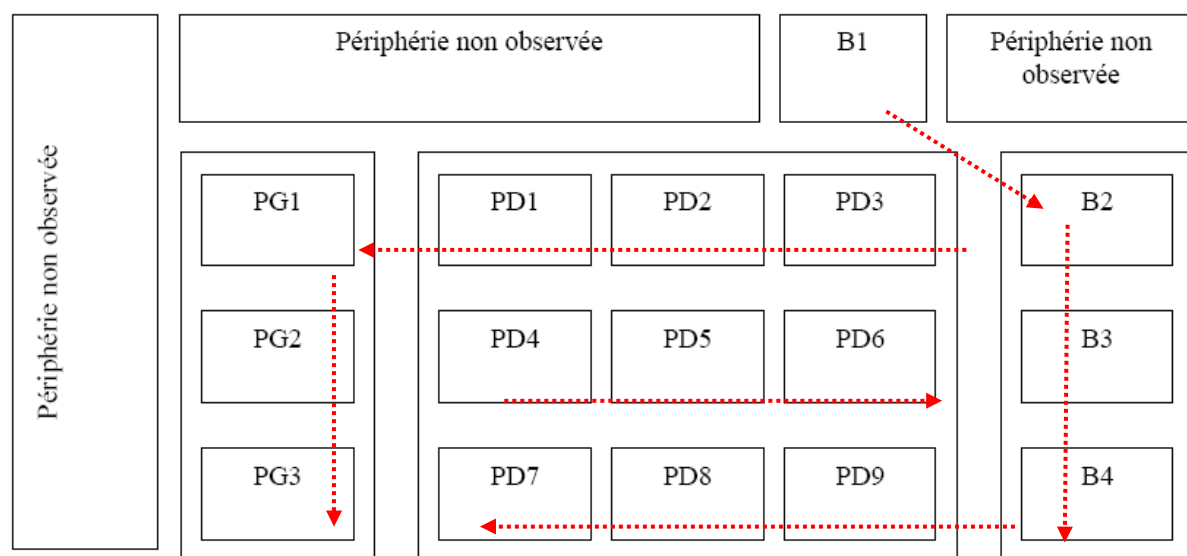
-Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin au déroulement de mon stage et m'ont permis de travailler dans la bonne humeur (la plupart du temps): Antoine le Wookie, Sylvaine, Hélène, Lise, Chloé, Cyrano, Thomas (avoir un voisin qui a le même prénom, c'est toujours pratique), Cécile, Rodolphe, Océane, ... et tant d'autres que j'ai sûrement oublié de citer (en même temps, j'écris ça à 2h du mat' pas longtemps avant de rendre mon rapport...alors j'espère qu'ils me pardonneront)



## **ANNEXES**

## Annexe 1 : Schémas des parcelles étudiées et parcours lors des relevés :

### Schéma parcelle E2A :

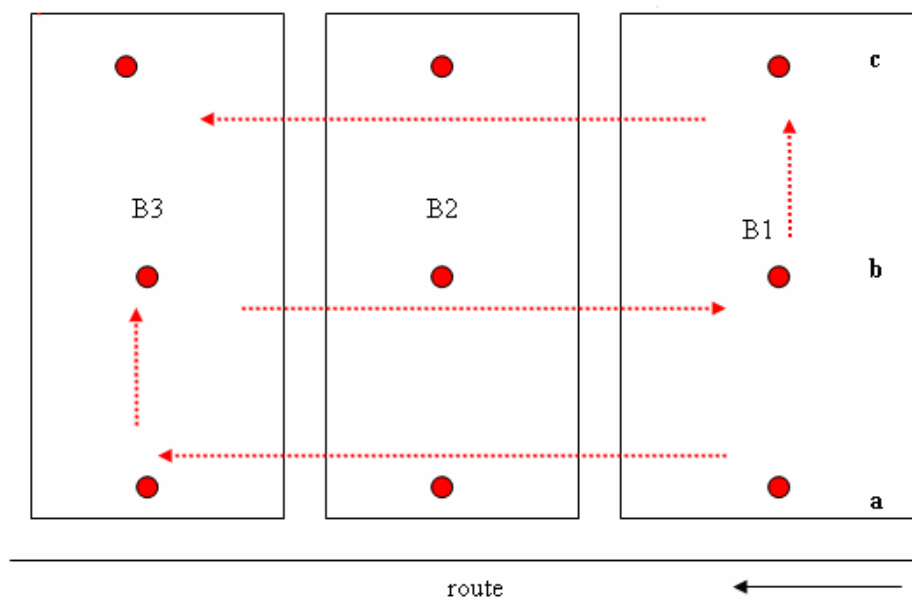


Représentation des différentes placettes d'observation sous la treille et sur les plantes périphériques de l'Entre-Deux. Seule une partie des plantes de bordures a été prospectée.

PG : parcelle gauche – PD : parcelle droite – B : plante bordure

.....➡ Sens du déplacement pour les observations

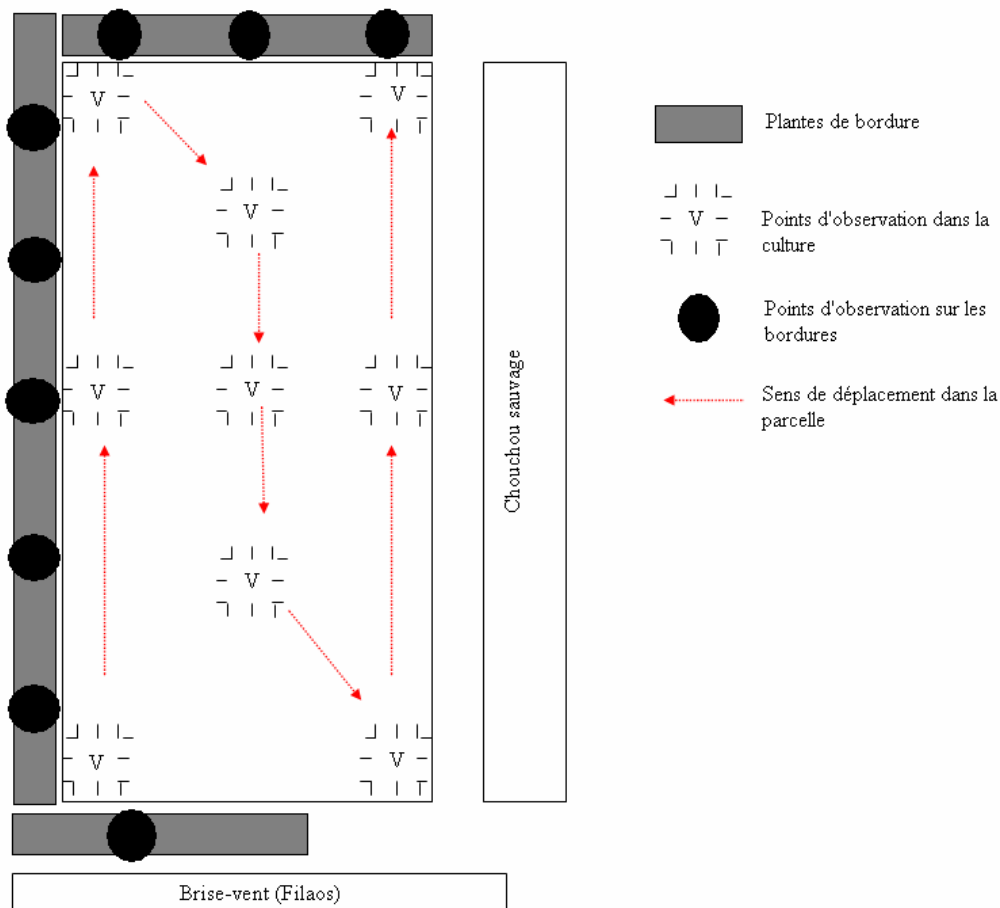
### Schéma parcelle E2B :



● Points d'observation dans la parcelle

.....➡ Sens de déplacement dans la parcelle

### Schéma de la parcelle SV :



### Schéma de la parcelle SE :

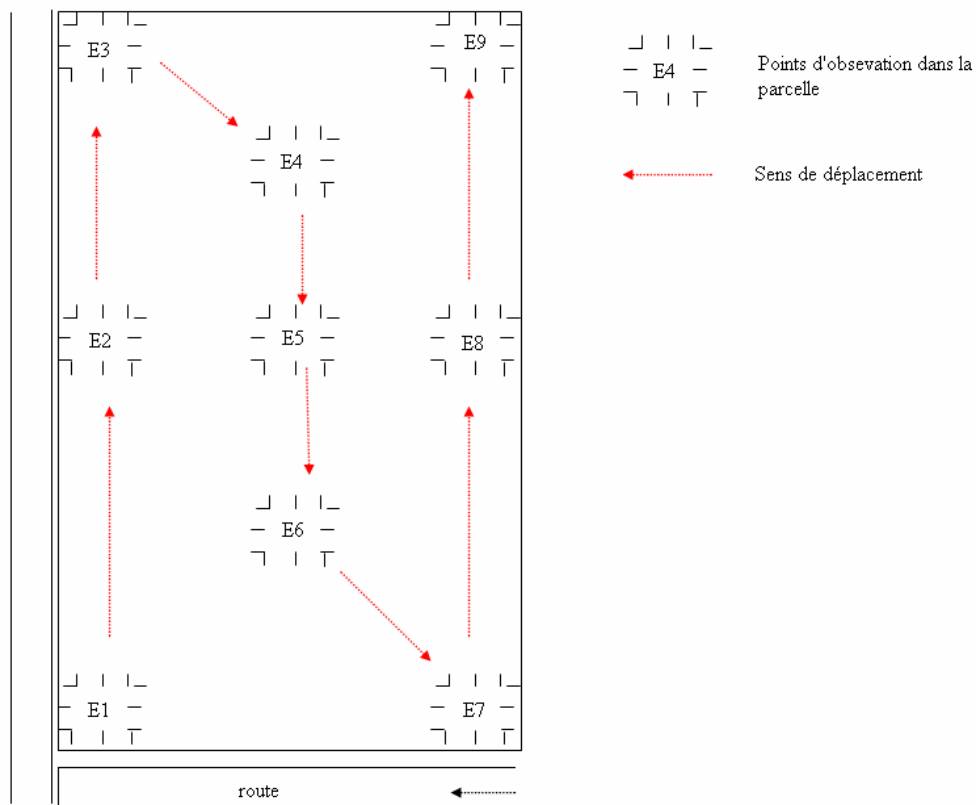
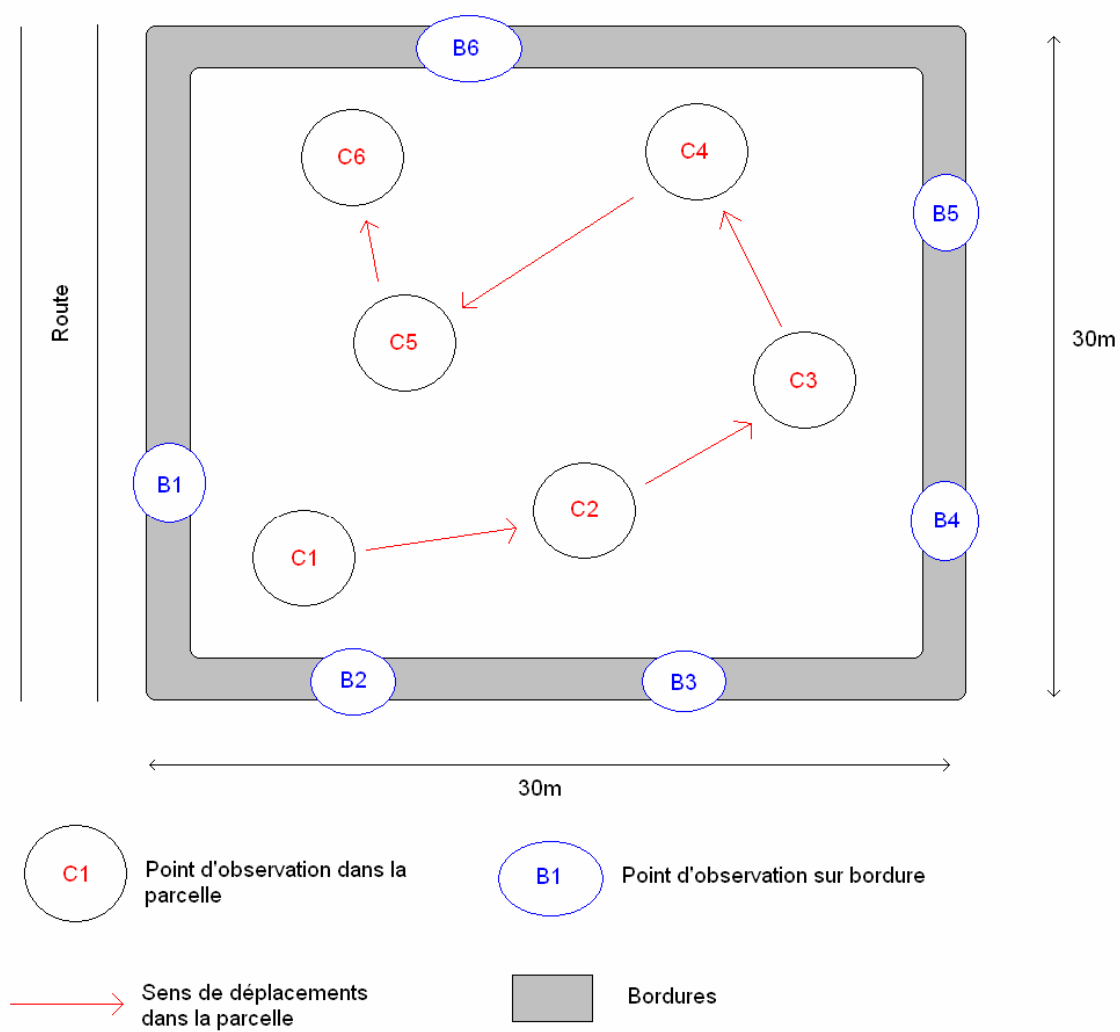


Schéma de la parcelle TR :





## ANNEXE 2 : Exemple de fiche terrain

### Parcelle B: Gilbert Hoarau

**Lieu: Entre-Deux (400m d'altitude)**

Type de culture: CHOUCHOU

Date:

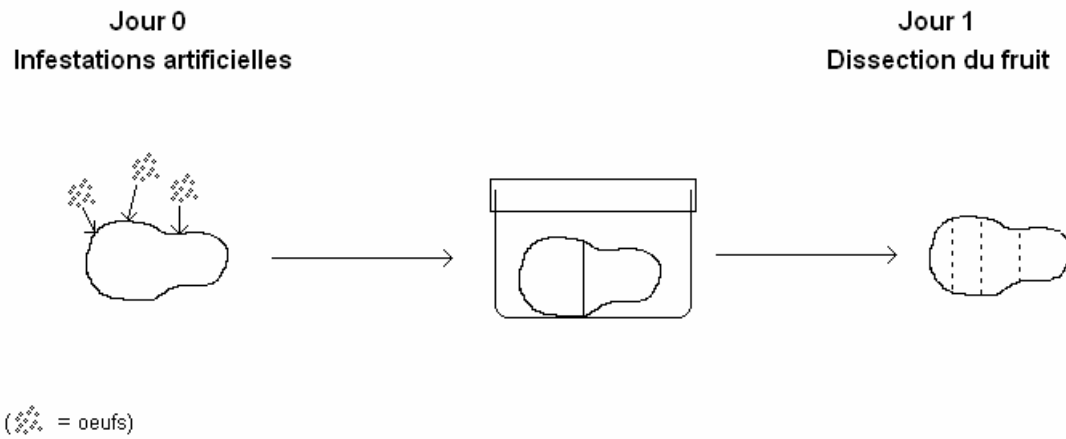
Heure:

[illegible]

## Annexe 3 :

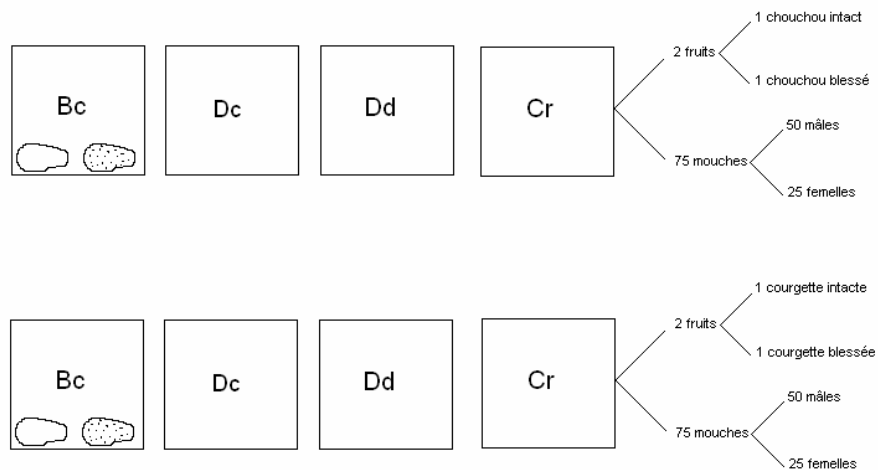
### Développement larvaire à partir d'infestations artificielles d'œufs

Schéma du dispositif expérimental pour une espèce de mouche et un type de fruit :



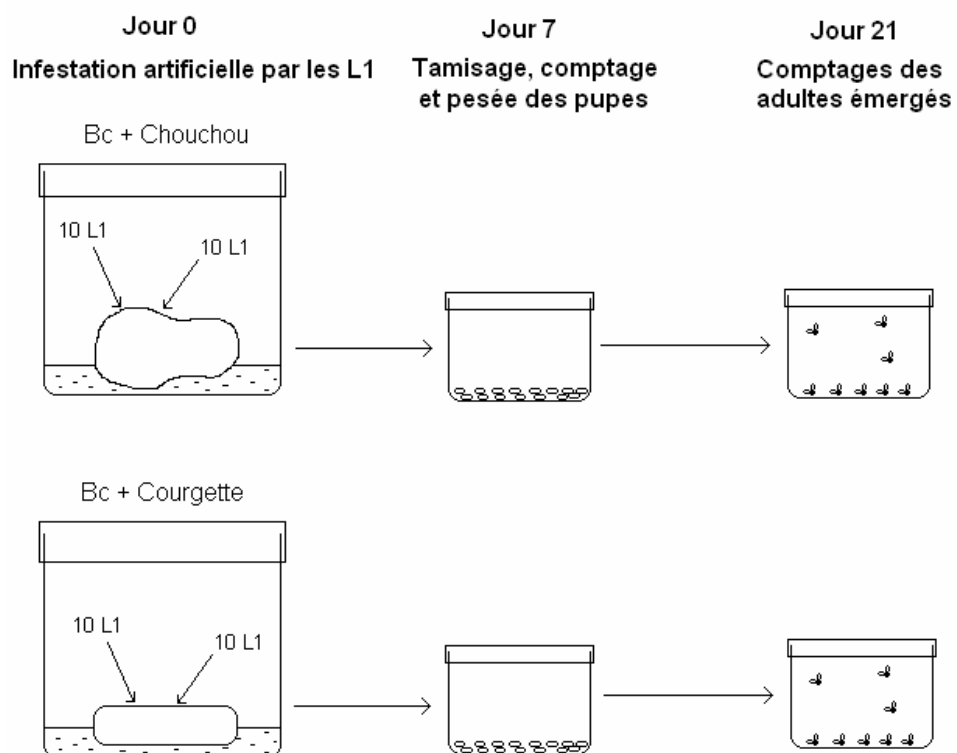
### Ponte et développement larvaire

Schéma du dispositif expérimental :



### Pupaison et émergence à partir d'infestations artificielles de larves

Schéma du dispositif expérimental (exemple pour *Bactrocera cucurbitae*) :



## Annexe 4 : Principes d'élevage des mouches :

Les mêmes techniques d'élevage sont utilisés pour les quatre espèces de Mouches des Fruits étudiées en laboratoire : *Bactrocera cucurbitae*, *Dacus demmerezi*, *Dacus ciliatus* et *Ceratitis rosa*.

Les mouches utilisées lors des diverses expériences au laboratoire proviennent de souches actuellement en élevage au laboratoire d'Entomologie du CIRAD.

Les premières mouches proviennent de souches sauvages récoltées dans la région de Saint Pierre. Pour commencer l'élevage, des fruits piqués (des courgettes pour les Mouches des Légumes et des goyaves pour *Ceratitis rosa*) sont collectés dans la nature et placés dans des boîtes contenant du sable pour permettre aux larves de s'empurger après leur développement dans le fruit. Au bout de dix jours environ, la sable est tamisé afin de récolter les pupes qui sont mises en boîtes également en attendant l'émergence des adultes. Les imagos émergents constituent la première génération de l'élevage.

Les mouches sont placées dans des cages d'élevage de différentes tailles selon les besoins et l'importance des populations. Trois types de cages sont utilisés :

- les petites (36/36/31 cm) pouvant contenir jusqu'à 250 mouches.
- les moyennes (50/50/50 cm) pouvant contenir environ 300 mouches.
- les grandes (106/54/54 cm) pouvant contenir environ 1000 mouches.

Ces différentes cages sont placées dans des chambres climatiques où les conditions sont contrôlées : une photopériode de 12h, une température de 27° C et un taux d'humidité de 75%.



Cages et chouchous entreposés en chambre climatique

Photo : A.Lereculeur (CIRAD)

L'alimentation des différentes espèces de mouches est composée de sucre de canne et d'hydrolysats de protéines. Des abreuvoirs sont également placés dans les cages. Ils sont constitués d'un récipient rempli d'eau et d'une éponge qui permet de distribuer l'eau par capillarité.



Abreuvoir et alimentation

Photo : T. François (CIRAD)

Pour obtenir de nouvelles générations de mouches, une fois la maturité sexuelle des adultes atteinte soit environ dix jours après émergence, différents dispositifs sont mis en œuvre :

Pour les trois espèces de Mouches des Légumes, des courgettes sont laissées pendant 24h dans les cages afin de permettre aux femelles de pondre. Les courgettes sont ensuite placées dans des boîtes contenant du sable et des flocons de pommes de terre (utilisés pour absorber l'humidité venant du fruit). Une fois le temps de développement larvaire dépassé, soit environ 10 à 15 jours, le sable est tamisé et les pupes récupérées sont placées dans les cages en attendant l'émergence des adultes.

Afin d'obtenir des œufs de *C. rosa*, un pondoir imprégné d'orange est placé dans la cage d'élevage. Quelques heures après, les œufs sont récupérés et placés dans un milieu 1 (Voir annexe : Milieux d'élevage de *Ceratitis rosa*) pour permettre le développement des larves. Six jours après les larves sont transférées sur un nouveau milieu, le milieu 2 (Voir annexe : Milieux d'élevage de *Ceratitis rosa*), et placées dans une boîte contenant du sable pour permettre la pupaison à la fin du développement des larves. Une fois les pupes récupérées après tamisage, celles-ci sont placées dans les grandes cages avant l'émergence des adultes.

Pour certaines expériences, des larves au stade L1 sont utilisées. Pour les obtenir chez les Mouches des Légumes, des courgettes sont mises en ponte dans les grandes cages pendant une journée avant d'être mises en boîte et stockées dans les chambres climatiques. Trois jours après, les courgettes sont disséquées et les larves récupérées.

(Il suffit de disséquer les fruits juste après les avoir sorti des cages pour obtenir des œufs).

Pour obtenir des larves L1 de *C. rosa*, un pondoir imprégné d'orange est mis dans les grandes cages pendant quelques heures et les œufs ainsi obtenus sont placés dans un milieu de développement 1. Ce milieu est placé à l'étuve à 25°C pour ralentir le développement des larves. Cela permet de récupérer les larves au stade L1 au bout de cinq jours environ.

Durée des différents stades du cycle biologique des trois espèces de Mouches des Légumes

Espèces de <i>Dacini</i>	Durée des stades pré-imaginaux (en jours)				Préoviposition (en jours)	Références
	Conditions	Incubation des œufs	Vie larvaire	Pupaison		
<i>B.cucurbitae</i>	24±1°C RH: 60 ± 5%	1,3	6,6	10,2	06 à 10	(Vargas <i>et al</i> , 1996)
<i>D.ciliatus</i>	18°C	4 à 5	15 à 17	14 à 17	–	(Orian et Moutia, 1960)
	23°C	2 à 3	4 à 6	7 à 9	–	
<i>D.demmerezi</i>	18°C	3 à 4	15 à 18	16 à 18	–	(Orian et Moutia, 1960)
	23°C	2 à 3	5 à 6	8 à 11	–	

### Milieus d'élevage de *Ceratitis rosa* (doses pour 500 mL)

#### Milieu 1 :

- 50g de poudre de carotte déshydratée
- 25g de levure de bière
- 10g d'Agar
- 500mL de solution Eau+nipagine+benzoate

#### Milieu 2 :

- 12.5g de poudre de carotte déshydratée
- 31.25g de levure de bière
- 12.5g de pomme de terre déshydratée
- 25g de germe de blé
- 50g de sucre
- 15mL d'HCl à 16.5‰
- 500mL de solution Eau+nipagine+benzoate

#### Solution Eau+nipagine+benzoate (pour 1L)

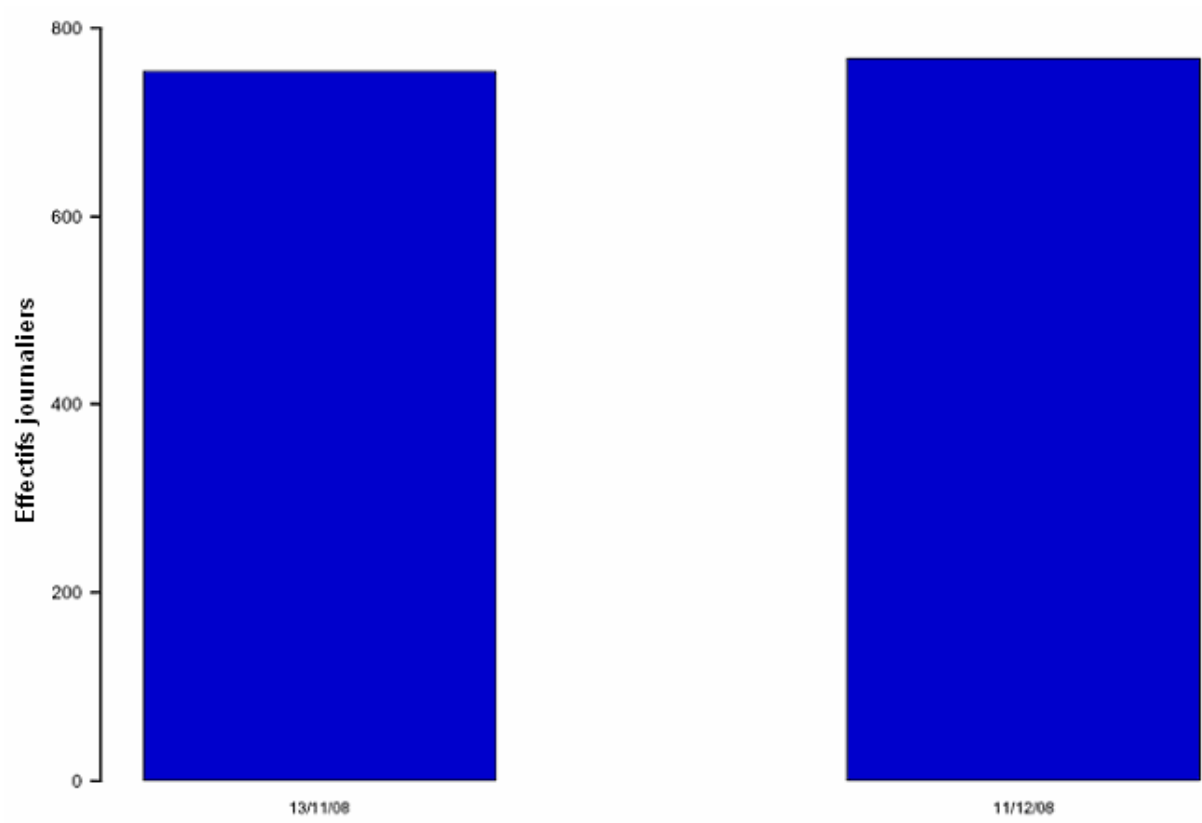
- 2g de p-hydroxybenzoate de méthyle (Nipagine)
- 2g de benzoate de soude
- compléter jusqu'à 1L avec de l'eau distillée.

## Annexe 5 : Récapitulatif des études *in situ*

	PARCELLE	NOMBRE D'OBSERVATIONS	DATES
<b>OBSERVATIONS ET DENOMBREMENT DES MOUCHES AU CHAMP</b>	SV	6	13/11/08, 11/12/08, 29/12/08 (-) , 29/01/09, 18/02/09, 16/03/09
	SE	3	13/11/08, 11/12/08 et 29/12/08
	E2A	4	22/10/08, 20/11/08, 27/11/08 et 30/12/08 (-)
	E2B	7	23/10/08, 19/11/08, 27/11/08, 30/12/08, 20/01/09, 16/02/09, 17/03/09
	TR	6	14/01/09, 05/02/09 (-), 19/02/09 (-), 05/03/09, 19/03/09 (-), 31/03/09 (-)
<b>COLLECTE DES FRUITS ET MISE EN EMERGENCE</b>	SV	11	Toutes les semaines entre le 16/12/08 et 24/02/09
	SE	1	06/01/2009
	E2A	Aucune	
	E2B	Aucune	
	TR	Aucune	
<b>CHUTE DES FRUITS ET OBSERVATION DE LEUR ETAT</b>	SV	9	Toutes les semaines entre le 16/12/08 et le 18/02/09
	SE	4	16/12/08, 23/12/08, 06/01/09, 15/01/09
	E2A	Aucune	
	E2B	30	Tous les 4 jours environ entre le 29/10/08 et le 09/03/09
	TR	Aucune	

(-) =observations partielles

**ANNEXE 6 : Figure 14, Evolution des effectifs journaliers dans la parcelle SE**





## **ANNEXE 7 : Distance entre les deux zones de culture à Salazie Mare à citrons et Mare à poule d'eau**



(Carte issue de mappy.fr)

La parcelle SE se trouve à Mare à citrons et la parcelle SV à Mare à poule d'eau.

## Annexe 8 : Distance entre les parcelles à l'Entre-Deux

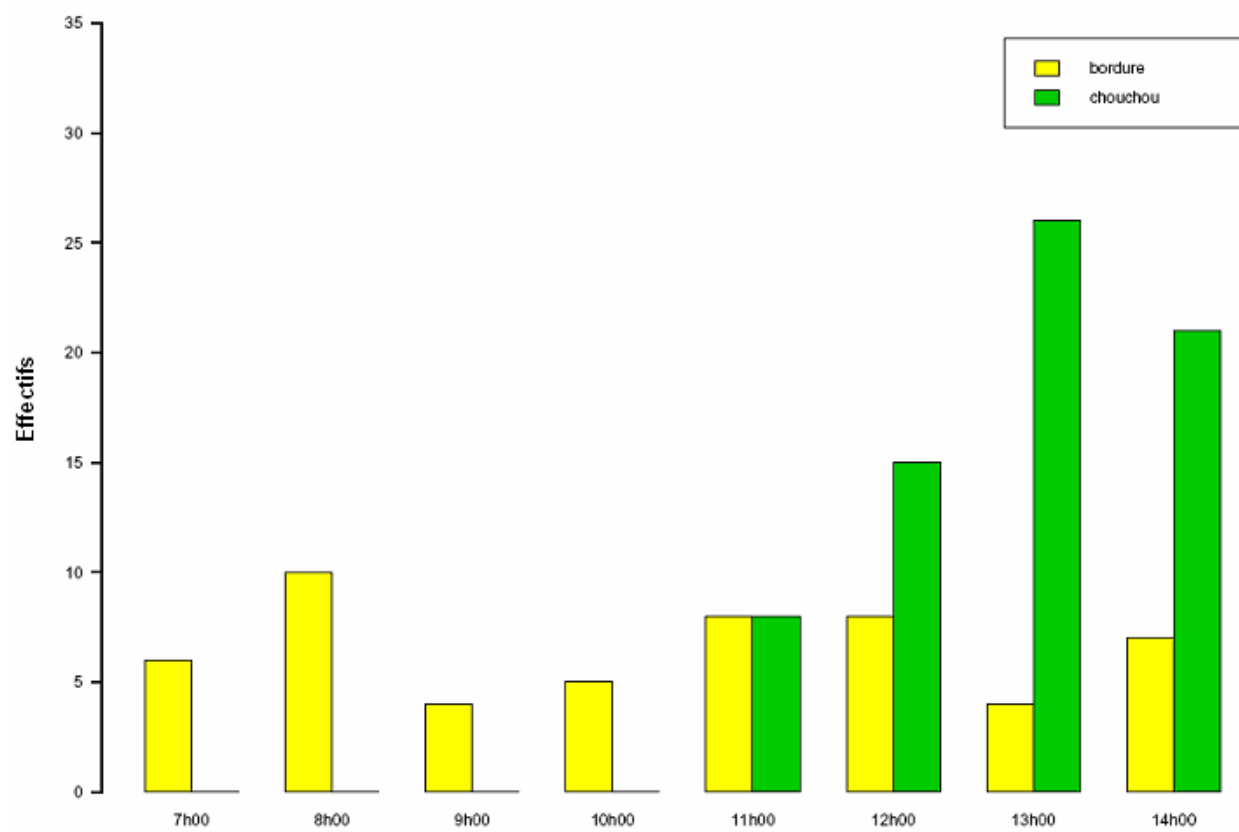


(Carte Issue de Google Earth)

A1 et A2 : Deux divisions de la parcelle E2A

B1, B2 et B3 : Trois divisions de la parcelle E2B

**ANNEXE 9 : Figure 21, Evolution des effectifs de mouches sur chou chou et sur  
bordure le 27/11/08 dans la parcelle E2A**



## ANNEXE 10 : Proportion des espèces dans 3 sites d'études

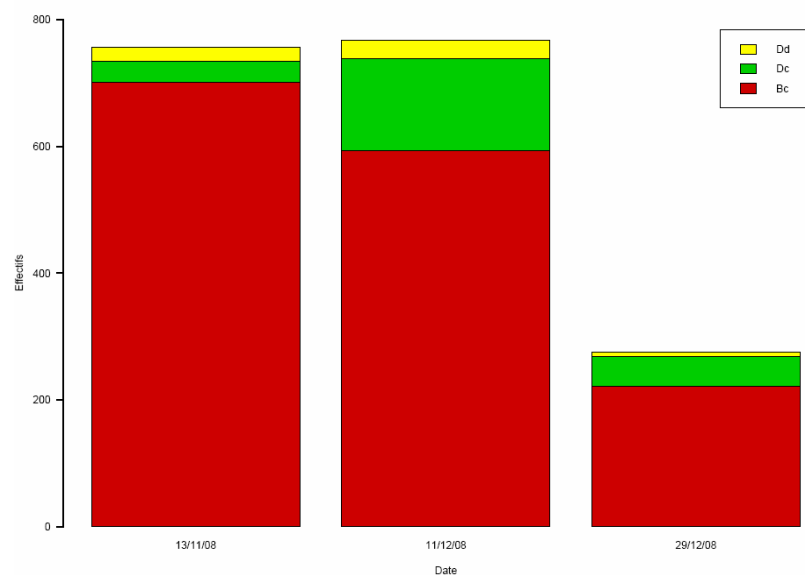


Figure 27 : Evolution de la proportion des espèces dans la parcelle SE en fonction de la date d'observation

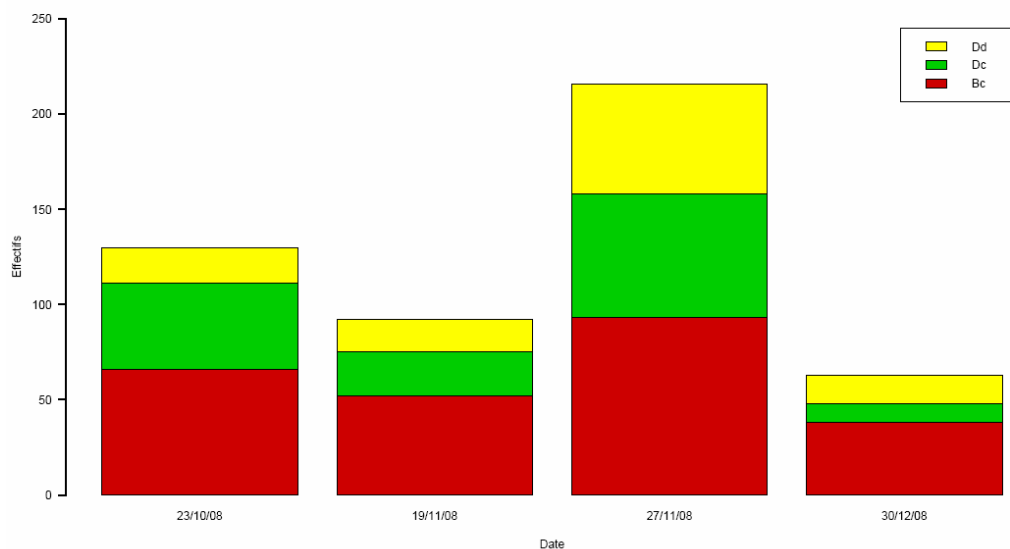


Figure 28 : Evolution de la proportion des espèces dans la parcelle E2A en fonction de la date d'observation

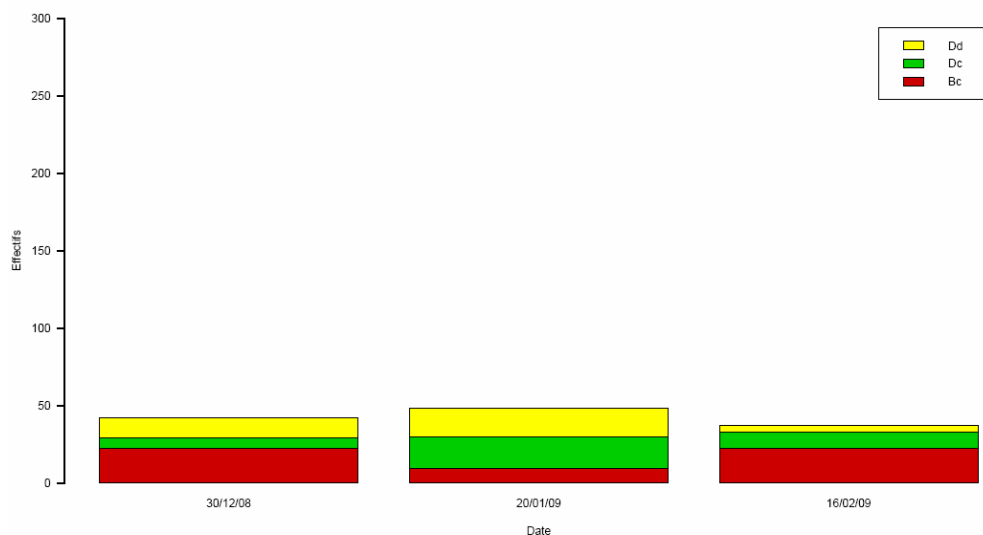
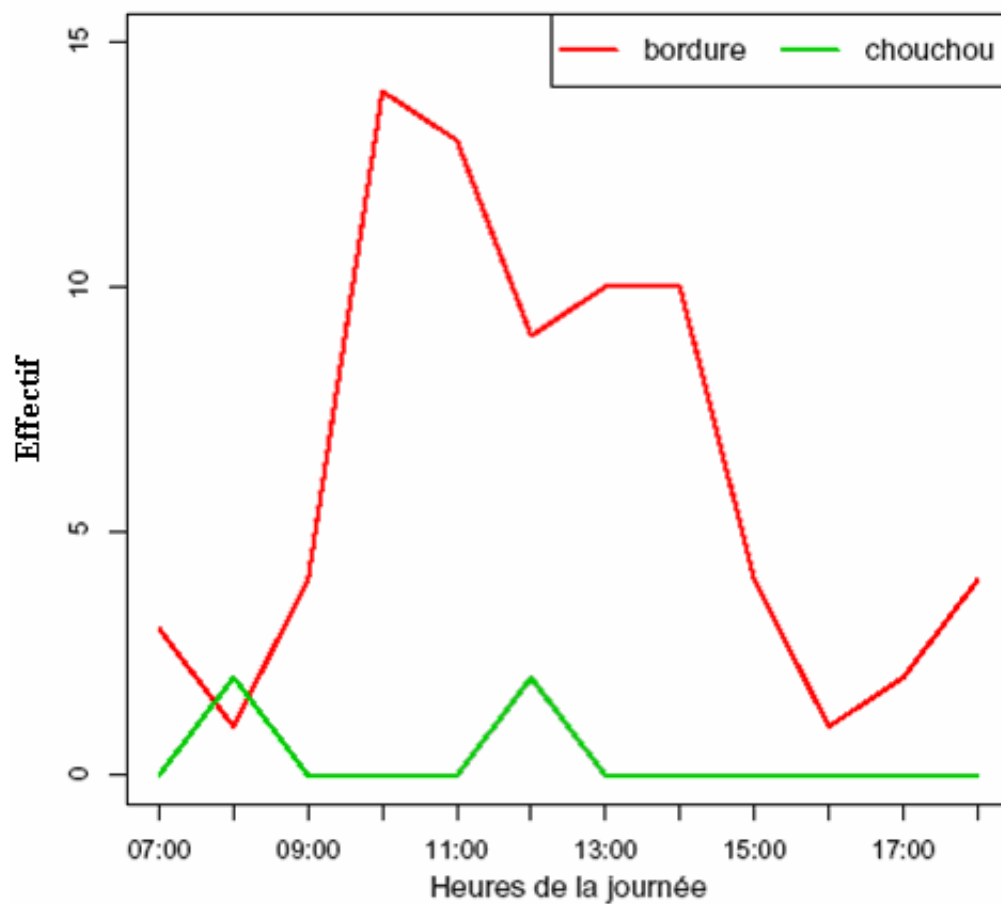
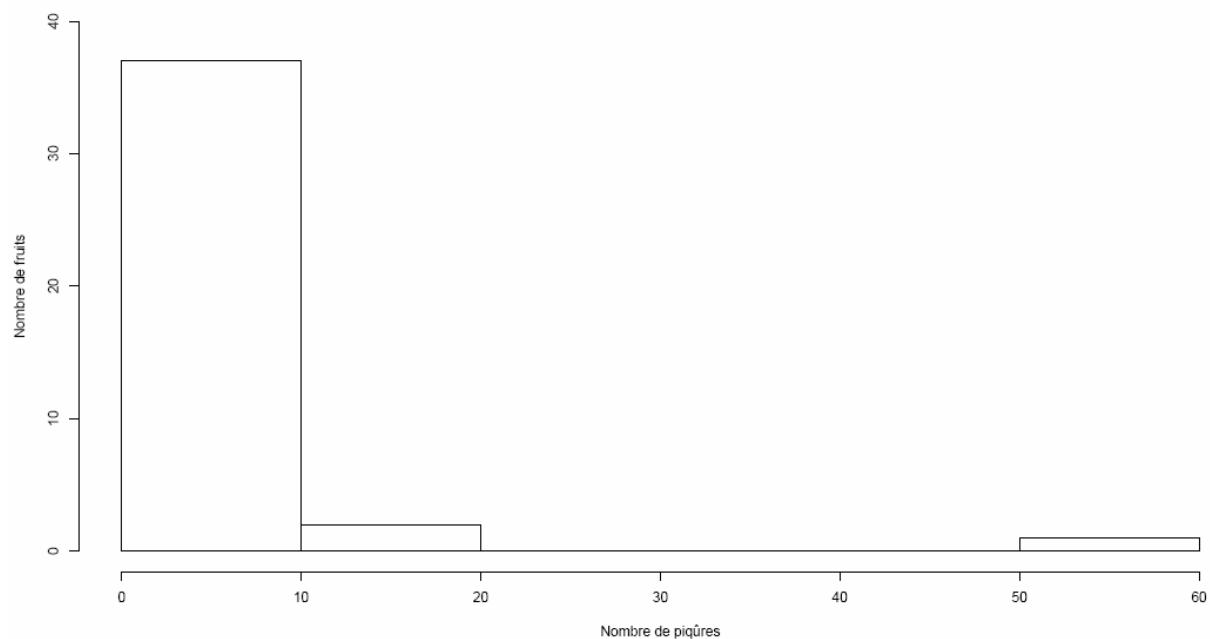


Figure 29 : Evolution de la proportion des espèces dans la parcelle E2B en fonction de la date d'observation

**ANNEXE 11 : Figure 30, Evolution des effectifs de mouches dans la parcelle de chouchou et sur les bordure à Tan Rouge, le 14/01/09.**



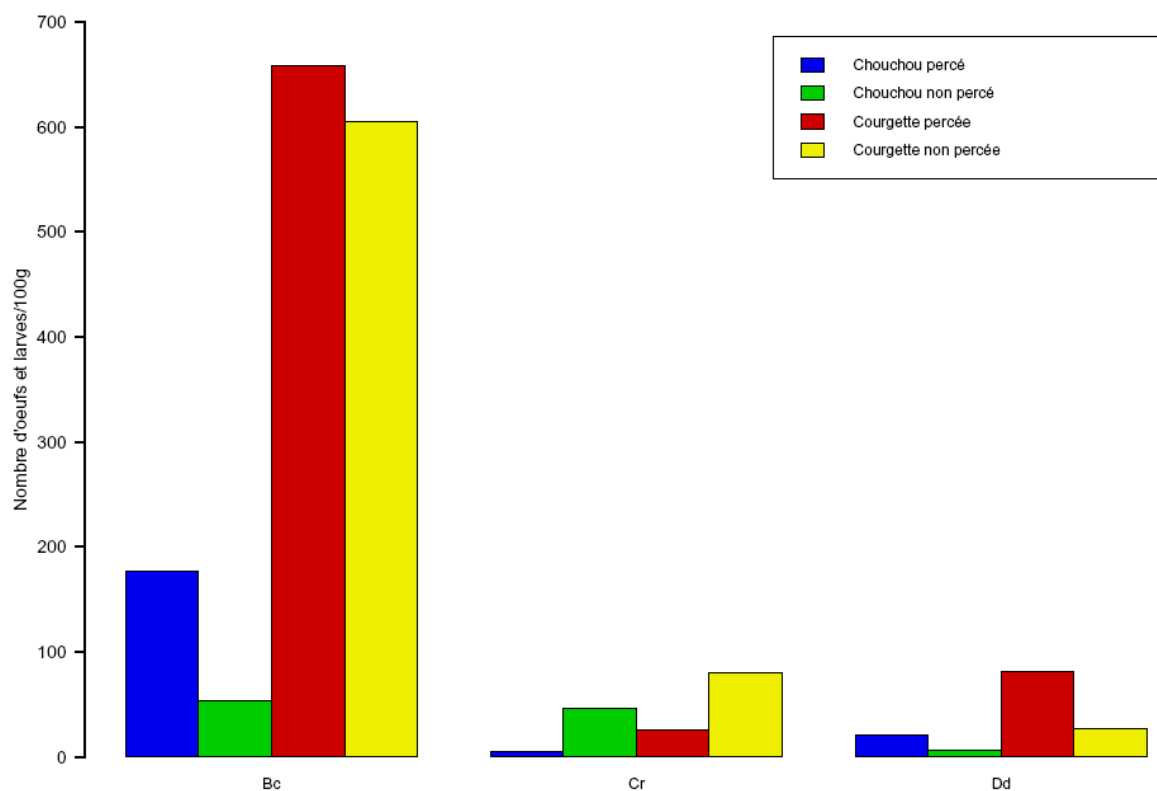
**ANNEXE 12 : Figure 35, Distribution du nombre de piqûres sur les fruits tombés  
dans les filets de la parcelle SV**



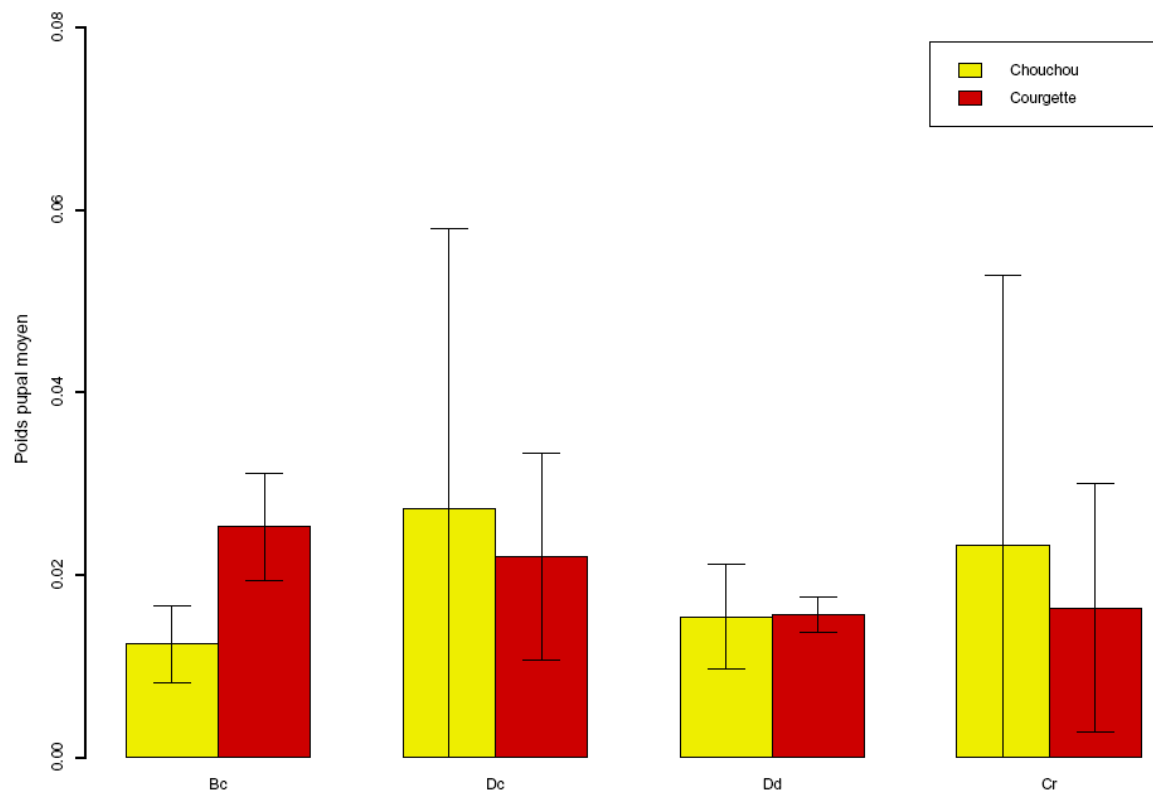
**ANNEXE 13 : Tableau 3, Récapitulatif des expériences au laboratoire**

EXPERIENCE	NOMBRE DE REPETITIONS	TEMOIN
Développement larvaire à partir d'infestations artificielles d'oeufs	2	Courgette
Observation des oeufs J+1	3	Courgette
Potentiels d'émergence et de développement larvaire à J+3	1	Courgette
Potentiels d'émergence et de développement larvaire à J+6	4	Courgette
Pupaison et émergence	6	Courgette
Survie des larves	2	Aucun témoin

## ANNEXE 14 : Potentiels de reproduction à J+3 pour chacune des 4 espèces



## ANNEXE 15 : Poids pupal moyen pour chacune des 4 espèces



## ANNEXE 16 : Résultats des tests exact de Fisher pour l'expérience sur la survie larvaire

Tableau 5 : Résultats significatifs du test de Fisher de comparaison des fruit

<b>Jour</b>	<b>Espèce</b>	<b>p-value chou chou-courgette</b>
<b>1</b>	Bc	4.07e-4 ***
<b>1</b>	Dd	6.35e-7 ***
<b>2</b>	Bc	8.58e-4 ***
<b>2</b>	Dd	5.97e-4 ***
<b>2</b>	Cr	0.033 *
<b>3</b>	Bc	9.84e-4 ***
<b>3</b>	Dc	0.018 *
<b>3</b>	Dd	9.98e-4 ***
<b>3</b>	Cr	4.81e-6 ***
<b>4</b>	Bc	4.66e-3 **
<b>4</b>	Dd	1.74e-3 **

Tableau 6 : Résultats significatifs du test de Fisher de comparaison des espèces

<b>Jour</b>	<b>Combinaison d'espèces</b>	<b>Fruit</b>	<b>p-value</b>
<b>1</b>	Bc-Dc	chou chou	0.004 **
<b>1</b>	Bc-Dd	courgette	0.053
<b>1</b>	Dc-Dd	chou chou	0.023 *
<b>1</b>	Dd-Cr	courgette	4.82e-3 ***
<b>2</b>	Bc-Dc	chou chou	5.91e-6 ***
<b>2</b>	Bc-Dd	courgette	0.053
<b>2</b>	Dc- Cr	chou chou	7.96e-4 ***
<b>2</b>	Dd- Cr	courgette	0.053
<b>3</b>	Dc- Cr	chou chou	0.021 *
<b>3</b>	Dd- Cr	chou chou	0.035 *
<b>4</b>	Bc- Cr	chou chou	2.43e-3 **

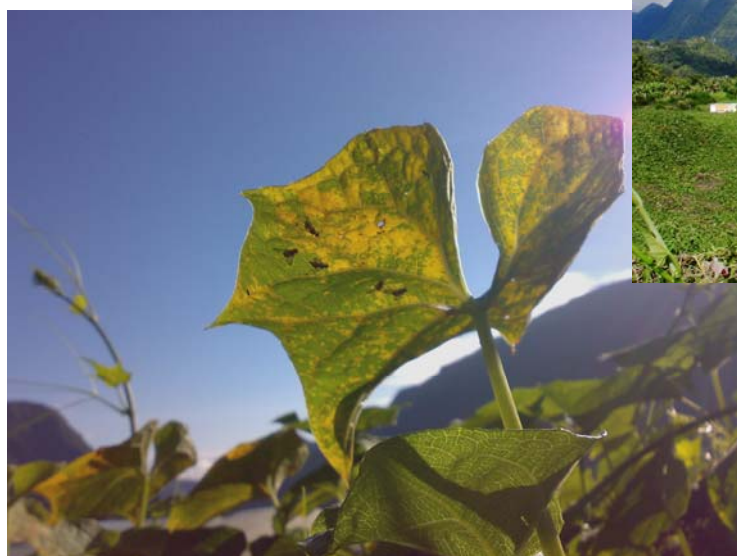


## **Annexe 17 : Rapport bibliographique**





**BIOECOLOGIE ET DEGATS DES MOUCHES DES LEGUMES**  
**(DIPTERA, TEPHRITIDAE) EN CULTURE DE CHOUCOU**  
**(*SECHIAM EDULE*) A LA REUNION**



**Par Thomas FRANCOIS**  
**Janvier-Juin 2008**

Direction de stage: **DEGUINE Jean-Philippe**\*<sup>1</sup>: Entomologiste- Agroécologue

\* UMR 53 PVBMT (CIRAD) Station de Ligne Paradis 7, chemin de l'IRAT 97410 SAINT PIERRE

\*<sup>1</sup> ☎ : 02 62 49 92 31 ✉: [jean-philippe.deguine@cirad.fr](mailto:jean-philippe.deguine@cirad.fr)

\*<sup>2</sup> ☎ : 02 62 49 92 40 ✉: [serge.quilici@cirad.fr](mailto:serge.quilici@cirad.fr)

Université de la Réunion- Faculté des Sciences et Technologies  
Année 2008-2009



# SOMMAIRE

Introduction .....	1
I- Le chouchou ( <i>Sechium edule</i> ) .....	2
1) Origine.....	2
2) Description .....	2
3) Conditions et zones de culture .....	2
4) Aspects phytosanitaires .....	3
II- Les Mouches des fruits et des légumes .....	3
1) Systématique des Tephritidae .....	3
2) Bioécologie .....	3
a- Cycle biologique .....	3
b- Comportement .....	4
c- Ecologie .....	4
III- Les Mouches du chouchou à La Réunion .....	4
1) Espèces nuisibles aux Cucurbitaceae à la Réunion .....	4
2) Les Mouches des fruits impliquées ? .....	5
IV- La protection des cultures de chouchou contre les mouches .....	6
1) La surveillance des populations .....	6
2) Les méthodes de lutte actuelles et leurs limites.....	6
3) Vers une gestion agroécologique de populations de mouches .....	7
V- Les mécanismes de défense des plantes face aux insectes .....	8
VI- Problématique et objectifs de l'étude .....	10
1) Problématique .....	10
2) Objectifs de l'étude .....	10
3) Protocole .....	11
Lexique .....	12
Références .....	14
Annexes .....	20



## Introduction

Du fait de son relief très accidenté et de sa situation géographique, La Réunion possède un climat tropical composé des microclimats contrastés. Ceci a permis le développement de nombreuses productions agricoles. Même si les deux tiers de la Surface Agricole Utile (S.A.U) sont occupés par la canne à sucre, la production de fruits et légumes représente aujourd'hui une part importante de l'économie locale avec environ 94000 t pour 4600 ha (Agreste, 2007).

Avec l'intensification du commerce international de produits frais et l'élargissement des zones géographiques d'échanges, le risque d'introduction d'espèces nuisibles par le biais de fruits contaminés se trouve renforcé. Dans la famille des Tephritidae, beaucoup d'espèces polyphages\* sont devenues des ravageurs d'importance économique. C'est par le biais de telles introductions accidentelles que La Réunion héberge aujourd'hui huit espèces de mouches des fruits et des légumes provoquant des dégâts importants sur les cultures fruitières et maraîchères. La grande diversité de microclimats et de plantes-hôtes cultivées ou sauvages favorise leur prolifération.

A La Réunion, le chouchou est une cucurbitacée importante mais sa culture est en régression depuis plusieurs années. Depuis 2001, ce sont 5 ha qui disparaissent chaque année. La culture représentait 80 ha en 2005. La principale zone de culture se trouve dans le cirque de Salazie (le chouchou est même l'emblème de cette région) où 95% de la production totale y est récoltée. Un autre site, de quelques hectares seulement, se situe dans la commune de l'Entre-Deux. Cependant, la production totale annuelle à la Réunion est en nette diminution : de 4800 t en 2001 à 3000 t en 2006 (Chambre d'agriculture, 2006 et 2007).

On impute aux Mouches des légumes (Diptera, Tephritidae) une responsabilité importante dans cette évolution. La ponte et le développement de leurs larves à l'intérieur du fruit le rendent non commercialisable. Malgré un manque de quantification précise, les pertes de production sont parfois estimées par les producteurs entre 60% et 90%. La culture de chouchou, culture traditionnelle de l'île, semble donc fortement affectée par l'incidence économique des mouches et est aujourd'hui menacée.

C'est la lutte chimique qui constitue encore aujourd'hui la base de la protection, mais à cause de son efficacité limitée et parce qu'elle a des conséquences non intentionnelles (sanitaires, environnementales, économiques), il est nécessaire de trouver des alternatives pour protéger les cultures. Un nouveau mode de gestion, dit agroécologique\*, est basé sur le rétablissement dans les agrosystèmes\* des équilibres écologiques entre communautés animales (mouches, ennemis naturels) et les communautés végétales (culture, plantes non cultivées). On manque cependant cruellement de connaissances sur le comportement et l'impact des mouches des légumes en culture de chouchou (Gilles, 2008). Pour établir des méthodes de gestion efficaces et durables, il est donc nécessaire d'étudier la bioécologie des mouches du chouchou et leurs dégâts.

Ce rapport bibliographique a pour but de faire la synthèse des connaissances sur le chouchou, les mouches nuisibles à cette culture et les mécanismes potentiels de résistance de la plante.

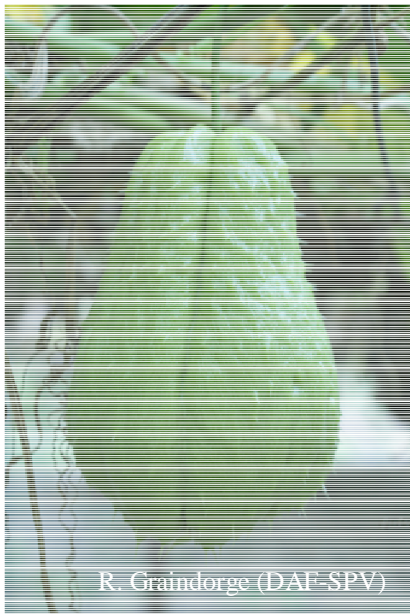


Figure 1 : Chouchou,  
*Sechium edule*



Figure 2 :Culture de chouchou sur treille à Salazie



Figure 3 :Chouchou grimpant sur la  
structure de la treille



## I- Le chouchou (*Sechium edule*)

### 1) Origine :

Le **chouchou** (*Sechium edule*) (Fig. 1 à 3) appartient à la famille des **Cucurbitaceae** qui comprend plus de 800 espèces et qui regroupe, entre autres, les courges (courgettes, citrouilles et potirons), la pastèque, le concombre ou encore le melon. Le chouchou est la seule espèce cultivée parmi le genre *Sechium* et est également connu sous les noms de chayote ou christophine notamment aux Antilles. L'espèce sauvage *S. compositum* Jeffrey aurait donné le chouchou qui serait devenu une culture maraîchère d'importance économique dans toutes les zones tropicales et subtropicales (Newstrom, 1991). Originaire d'Amérique centrale, le chouchou était déjà cultivée par les Aztèques et les Mayas et a ensuite été introduit aux Antilles et en Amérique du Sud entre le XVIII<sup>e</sup> et le XIX<sup>e</sup> siècle. D'autres phénomènes d'introduction ont fait qu'aujourd'hui, le chouchou est présent en Europe, en Afrique, en Asie, en Australie et également dans les Mascareignes (Monnerville et al., 2001).

### 2) Description :

*Sechium edule* est une herbacée vigoureuse émettant des lianes pouvant atteindre 20 m de longueur et de grosses racines pérennes. Elle est formée d'une tige centrale qui peut mesurer jusqu'à 15 cm de diamètre et d'où partent de nombreuses autres tiges portant des vrilles des trois à cinq branches opposées à des feuilles simples de 20 cm de long et de large.

Le chouchou est monoïque\* et possède de petites fleurs attractives pour de nombreux insectes pollinisateurs. Celles-ci apparaissent côte à côte à l'aisselle des feuilles. Le fruit charnu est piriforme ou ovoïde, d'une longueur allant de 7 à 20 cm. Il est de couleur verte, vivipare\*. La graine ou amande est aplatie et claire. Le fruit est intéressant au plan diététique puisqu'il est pauvre en calories et riche en sels minéraux et en eau (90%) (Monnerville et al., 2001).

### 3) Conditions et zones de culture :

Actuellement, l'espèce *Sechium edule* est essentiellement cultivée en Amérique latine, dans la zone caraïbes et à l'île de La Réunion.

Aux Antilles et aux Costa Rica, la culture de chouchou est généralement réalisée sur des treilles de 4 à 6 m de côté et de 2 m de hauteur (Monnerville et al., 2001). A La Réunion, on trouve deux types de cultures de chouchou : une culture intensive sur treille, comme à Salazie et l'Entre-Deux, et une culture extensive, traditionnelle, qu'on peut trouver dans les jardins, aux abords des ravines, où le chouchou pousse directement au sol.

A La Réunion, la plantation sur treille se fait au début du mois de février (été austral), tandis qu'aux Antilles, elle se fait en septembre (Monnerville et al., 2001). Une photopériode de 12 heures, des précipitations élevées et des températures comprises entre 13°C et 21°C sont les conditions requises pour favoriser la floraison et la fructification (Engels & Jeffrey, 1993). En général, le chouchou est cultivé entre 500 et 2000 m d'altitude. La récolte se fait tout au long de la saison pour se terminer au mois de novembre à La Réunion.

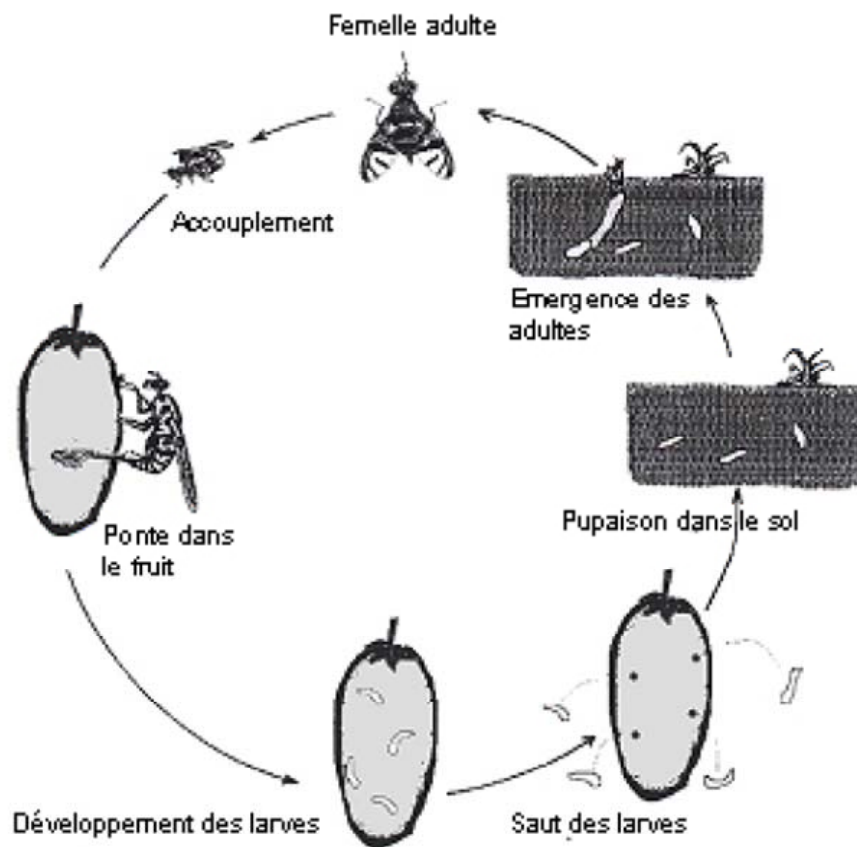


Figure 4 : Cycle de développement des Dacini (Brévault, 1999)



Figure 5 : Femelle de Dacini en train de pondre



Figure 6 : Œufs de Dacini



Figure 7 : Larves de Dacini



Figure 8 : Pupes de Dacini

#### 4) Aspects phytosanitaires :

Jusqu'à ces dernières années, le chou chou était considéré comme une plante assez « rustique », résistante à la plupart des parasites et ravageurs (pucerons, chenilles, ...). Cependant, des cas de moisissures (oïdium, mildiou) ont été recensés dans la plupart des régions productrices, comme aux Antilles. Le chou chou s'est aussi révélé sensible aux nématodes (*Meloidogyne incognita*, *M. javanica* et *M. halpa*) en Amérique du Sud et aux Antilles (Monnerville et al., 2001).

## II- Les Mouches des fruits et des légumes

### 1) Systématique des Tephritidae :

Les Mouches des fruits et des légumes appartiennent à la famille des **Tephritidae** (ordre : DIPTERA, sous-ordre : BRACHYCERA, division : CYCLORRHAPHA, super famille : TEPHRITOIDEA) qui comprend environ 4000 espèces. C'est l'une des plus grandes familles de diptères et l'une des plus importantes économiquement (White & Elson-Harris, 1992). Elle est, depuis plus d'un siècle, l'une des familles de ravageurs les plus étudiés (Aluja & Norrbom, 2000).

La sous-famille des **Dacinae** regroupe les ravageurs des cultures et est elle-même divisée en deux tribus : les **Ceratitini** et les **Dacini**. Cette dernière est composée de deux genres, *Dacus* et *Bactrocera*, et comporte environ 700 espèces décrites, mais de nouvelles espèces sont régulièrement identifiées. La plupart sont recensées dans les régions tropicales et sub-tropicales d'Afrique, d'Asie du Sud-Est, des îles du Pacifique et d'Australie (Munro, 1984 ; Drew et al., 1982).

Les adultes des deux genres se distinguent grâce aux tergites\* abdominaux : ils sont fusionnés en une seule plaque chez le genre *Dacus* et libres chez le genre *Bactrocera* (Drew, 1989).

### 2) Bioécologie :

#### a- Cycle biologique :

Les Dacini sont des insectes holométaboles\*. Les femelles pondent en général dans les jeunes fruits localisés grâce à divers stimuli. Le cycle se déroule en plusieurs étapes (White & Elson-Harris, 1992) (Fig. 4), dont la durée diffère selon les espèces :

-**Œuf** (Fig. 6): il est en général blanc et allongé. Les paquets d'œufs sont pondus dans les premiers millimètres sous l'exocarpe\* du fruit.

-**Larve** (asticot) (Fig. 7) : elle se développe dans le fruit en consommant sa pulpe, et passe par 3 stades. Juste avant la pupaison\*, l'asticot, de couleur ivoire avec une partie antérieure allongée munie deux crochets buccaux noirs, sort du fruit en sautant, tombe au sol et s'y enfouit pour se nymphoser\*.

-**Pupe** (Fig. 8): elle a la forme d'un tonnelet de couleur jaunâtre avec des stries transversales brunes.

-**Adulte** (imago) (Fig. 5) : après émergence, quelques jours à une semaine sont nécessaires pour qu'il atteigne la maturité sexuelle. Cette période de maturation a une durée variable (Fletcher & Kapatos, 1983). En effet, la disponibilité en plantes-hôtes, le régime alimentaire, la présence de mâles peuvent avoir une incidence sur la maturation sexuelle des femelles.



## **b- Comportement :**

Les Dacini sont des insectes actifs durant la journée et au repos durant la nuit où elles restent juchées (« roosting » en anglais) sous les feuilles des plantes, hôtes ou non (Vayssières, 1999). L'activité diurne des mouches peut se résumer en cinq grandes catégories : repas, vol, alimentation, accouplement et ponte. Certaines activités sont dépendantes des rythmes circadiens\* et des facteurs abiotiques, comme la température ou l'intensité lumineuse (Kawai & Yoshikaru, 1981). Le pic principal d'activité alimentaire culmine en général dans la matinée (Syed, 1969) ainsi que les comportements de ponte (Nishida & Bess, 1957). Ces activités s'arrêtent en soirée contrairement à l'activité sexuelle des Dacini qui commence avec la décroissance de la luminosité (Bateman, 1972). Durant cette période, la production de phéromones\* sexuelles a été observée chez les mâles des trois espèces nuisibles aux Cucurbitaceae (Dehecq, 1995) ainsi que des comportements de leks\* (Kuba & Koyama, 1985).

L'accouplement et la prise de nourriture se réalisent essentiellement sur des plantes non hôtes (Matanmi, 1975), c'est-à-dire qui ne sont impliquées ni dans la ponte ni dans le développement des larves.

Pour pondre, les femelles piquent avec leur ovipositeur\* sous l'épiderme des fruits de plantes-hôtes (Prokopy & Koyama, 1982). La taille de ponte varie selon les espèces, d'une quarantaine d'œufs au maximum pour *B. cucurbitae* jusqu'à un seul œuf par ponte pour *B. oleae* (Cirio, 1971). L'existence de piqûres alimentaires n'a jamais été mise en évidence (Etienne, 1982).

## **c- Ecologie :**

Les facteurs abiotiques tels que la température, l'humidité et la lumière jouent un rôle important sur l'abondance des mouches en intervenant directement ou indirectement sur les taux de développement, de mortalité et de fécondité (Bateman, 1972).

Les populations de Dacini doivent également faire face dans la nature à divers prédateurs et parasitoïdes\*. Les plus importants sont les fourmis qui parviennent à extraire les larves et les pupes des fruits et du sol (Bateman et al., 1976), mais il en existe également d'autres comme les dermaptères (perces oreilles), des staphylins ou encore des larves de carabiques (Syed, 1969 ; Fletcher, 1979). Certains arachnides peuvent aussi capturer les adultes dans leur toile ou à l'affût. Il existe actuellement de nombreuses espèces de parasitoïdes des Mouches des fruits, la majorité étant des Hyménoptères appartenant à la famille des Braconidae. Les parasitoïdes peuvent attaquer pratiquement tous les stades chez les Mouches des fruits et légumes et sont très utilisés en lutte biologique.

# **III- Les Mouches du chouchou à la Réunion**

## **1) Espèces nuisibles aux Cucurbitaceae à la Réunion :**

Huit espèces de Tephritidae d'intérêt économique sont présentes à la Réunion et causent en général des dégâts importants (Etienne, 1968 et 1972). Les Cucurbitaceae dont le chouchou subissent des dommages de trois d'entre elles :

**-*Bactrocera (Zeugodacus) cucurbitae*** (Coquillett, 1873) (Fig. 10) : la Mouche du melon a été introduite à la Réunion à partir de l'île Maurice, elle-même colonisée à partir de l'Inde probablement en raison des échanges commerciaux importants (Etienne, 1982). C'est un ravageur ayant un fort impact économique à Hawaii ou en Asie du Sud-Est (Harris, et al., 1986 ; Tan & Lee, 1982). En effet, c'est une espèce



Figure 10 : Adulte femelle de *Bactrocera cucurbitae*



Figure 11 : Adulte femelle de *Dacus ciliatus*



Figure 12 : Adulte femelle de *Dacus demmerezi*



polyphage qui possède plus de 125 plantes-hôtes (Weems, 1964). Cependant, à la Réunion ainsi qu'à Maurice, elle se développe essentiellement sur des plantes de la famille des Cucurbitaceae. Elle est présente du littoral jusqu'à 600 m d'altitude.

**-*Dacus (Didacus) ciliatus*** (Loew, 1901) (Fig. 11): la Mouche éthiopienne des Cucurbitaceae est probablement originaire d'Ethiopie où elle est très largement distribuée (Maher, 1957). A la Réunion, sa présence a été signalée dès 1964 (Pointel, 1964). C'est une espèce panafricaine qui provoque des dégâts importants à Madagascar et aux Comores (Etienne, 1974), mais également dans toute l'Afrique, au Pakistan, en Inde, à la Réunion et à Maurice. Son aire de répartition à la Réunion irait du littoral jusqu'à 1200 m.

**-*Dacus (Dacus) demmerezi*** (Bezzi, 1917) (Fig. 12) : la Mouche des cucurbitacées de l'Océan Indien est considérée comme originaire de Maurice, où elle a été décrite par Bezzi en 1923 (Orlan & Moutia, 1960). Elle est présente également à Madagascar (Paulian, 1953) et à La Réunion. C'est une espèce relativement ubiquiste et peut se rencontrer des premiers contreforts de l'île jusqu'à 1500 m, mais reste tout de même une espèce d'altitude.

A La Réunion, Vayssières (1999) montre que les pontes, réalisées en cage sur courgette, ne se font pas aux mêmes heures de la journée pour chacune des trois espèces qui nous intéressent particulièrement. La ponte de *D. ciliatus* s'effectue le matin, celle de *D. demmerezi* dans l'après midi, alors que *B. cucurbitae* peut pondre durant toute la journée.

Gilles (2008) montre que les adultes de ces trois espèces de mouches réalisent pendant la journée des mouvements de « va-et-vient » entre les plantes des bordures et les parcelles cultivées de chou chou. *D. ciliatus* fréquente généralement les treilles en début de matinée, *D. demmerezi* en fin de matinée et *B. cucurbitae* en début d'après-midi. Les trois espèces semblent se nourrir sur les plantes de bordures en fin d'après-midi. Ensuite, l'étude de Gilles (2008) laisse entendre que *B. cucurbitae* pond en début d'après midi, *D. ciliatus* le matin et *D. demmerezi* tout au long de la matinée. Cependant, ces résultats restent encore à confirmer étant donné les faibles effectifs des deux dernières espèces.

De plus, Atiama (2008) montre, d'après ses observations en champ de courgette, que *D. demmerezi* et *D. ciliatus* passent l'essentiel de leur temps sur le maïs, utilisé comme plante de bordure. Alors que les mâles restent sur les bordures toute la journée, seules les femelles migrent sur la parcelle de courgette cultivée à un moment de la journée (entre 16h et 18h pour *D. demmerezi* et entre 10h et 14h pour *D. ciliatus*) dans le but de pondre.

## 2) Les Mouches des fruits impliquées ?

Selon Vayssières (1999), il semblerait que d'autres espèces « fructifères » viennent parfois pondre dans les fruits des Cucurbitaceae. Ce serait le cas de *Neoceratitis cyanescens*, *Ceratitis capitata* et de *Ceratitis rosa*. Ces trois espèces appartiennent à la tribu des Ceratitini (sous-tribu des Ceratitina). Cette hypothèse semble confirmée par des événements de piqûre sur fruits de chou chou par *C. rosa* (sept événements ont été observés dans les parcelles en 2008 et 2009 (Deguine, 2009, communication personnelle).

**- *Neoceratitis cyanescens*** (Bezzi): la Mouche de la tomate est probablement une espèce indigène malgache et a été introduite à la Réunion, puis à Maurice où les premiers dégâts sont mentionnés dans les années 50 (Orlan & Moutia, 1960). Sur l'île de la Réunion, son aire de répartition s'étend du littoral jusqu'à 1500 m



Figure 13 :Piège de type Mc Phail



Figure 14 : Piège Tephri-Trap®



Figure 15 : Piège Takamaka®



Figure 16 : Traitement par taches



d'altitude, en fonction des plantes-hôtes disponibles (Etienne, 1982). *N. cyanescens* est inféodée à la famille des Solanaceae. Elle provoque des dégâts importants sur les cultures maraîchères, en particulier celle de la tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). Elle possède également des plantes-hôtes sauvages parmi les Solanaceae (bringellier, morelle noire), ce qui offre des conditions favorables au développement des larves tout au long de l'année.

- ***Ceratitis capitata*** (Wiedemann) : la Mouche méditerranéenne des fruits se retrouve dans presque toutes les régions tropicales du monde, excepté une grande partie de l'Asie et le Nord américain (White & Elson-Harris, 1992). Elle serait originaire d'Afrique du Sud-Est (De Meyer et al., 2004 ; Bonizzoni et al., 2000). Elle fut introduite en 1939 à la Réunion et s'y est répandue (White et al., 2000) jusqu'à 100m d'altitude. Polyphage, elle s'attaque à la quasi-totalité des cultures fruitières (Duyck, 2005).

- ***Ceratitis rosa* Karch**: la Mouche du Natal est également originaire d'Afrique du Sud-Est (Baliraine et al., 2004) et n'est connue que dans cette partie du continent africain ainsi que dans les Mascareignes (De Meyer, 2001). Elle a été détectée pour la première fois à la Réunion en 1955 (Etienne, 1972). Comme *C. capitata*, elle s'attaque aussi à la quasi-totalité des cultures fruitières et est considérée comme la plus nuisible des trois *Ceratitis* présentes à la Réunion et a colonisé tous les régions de l'île, du littoral jusqu'à 1500 m d'altitude.

## IV- La protection des cultures de chou chou contre les mouches

### 1) La surveillance des populations :

Quelle que soit la méthode de lutte envisagée contre les mouches des fruits, il est nécessaire de surveiller les populations, pour savoir à quel moment traiter ou encore pour vérifier l'efficacité de la lutte appliquée. Les pièges à paraphéromones\*, destinés à capturer les mâles de certaines espèces, sont actuellement les meilleurs outils de détection des populations. A La Réunion, les pièges les plus fréquemment utilisés sont des pièges à base d'attractif sous forme liquide comme le piège McPhail (Mc Phail, 1974) (Fig. 13), ou des pièges à sec pour les attractifs sexuels (conditionnés sous forme de plaquettes ou de diffuseurs) comme le Tephri-Trap® (Ros et al, 1996) (Fig. 14) ou le Takamaka® (Fig. 15).

### 2) Les méthodes de lutte actuelles et leurs limites :

-**La lutte chimique** : La lutte chimique classique consiste en la pulvérisation d'insecticides pendant la période de sensibilité des fruits (Roessler, 1989). Des études ont révélé que le malathion était le plus efficace (Jones & Skepper, 1965). Il est aujourd'hui admis que la lutte chimique classique, avec ses effets collatéraux indésirables (destruction de l'entomofaune, coût élevé, développement de résistance), mène à des impasses environnementales, économiques et sociales. Une lutte chimique plus raisonnée est actuellement envisagée avec la surveillance des populations et le traitement par taches (attractif alimentaire et insecticide) (Fig. 16) limitant ainsi l'impact négatif sur les auxiliaires\*.

-**La lutte biologique** : Il existe 3 types de stratégies en lutte biologique. La première, dite « classique », utilise la spécificité d'action d'auxiliaires exotiques. Cette stratégie d'acclimatation doit répondre à des mesures de quarantaine et de risques de transfert de matériel vivant. La deuxième, inondative, nécessite la production en masse d'auxiliaires ainsi que leur dispersion, de façon répétée, dans le milieu infesté.



Ces modes de lutte sont souvent incompatibles avec la lutte chimique et ne s'organisent qu'autour d'un couple ravageur-prédateur (ou parasitoïde). Ce n'est pas une gestion totale des populations de l'agrosystème mais une méthode curative au cas par cas. Pour sa part, la troisième lutte biologique, dite de « conservation », s'inscrit plus dans un contexte de prévention et consiste à valoriser les espèces auxiliaires indigènes en promouvant la conservation de leurs habitats naturels.

Les travaux de lutte biologique contre les Tephritidae ont commencé au début du siècle dernier, à Hawaï, avec des lâchers de *Psytalia fletcheri* Silvestri (Braconidae) un parasitoïde larvo-pupal\* de *B. cucurbitae* (Fullaway, 1920). A La Réunion, après des introductions massives de plusieurs espèces, Etienne (1974) a reconnu des résultats très limités dans leur établissement. *Psytalia fletcheri* a été acclimaté avec succès à La Réunion, à partir d'Hawaï, à la fin des années 90 (Quilici *et al.*, 2004). Des études restent encore à effectuer pour pallier au manque de connaissances bioécologiques entre ce parasitoïde et ses hôtes.

**-Autres méthodes :** D'autres moyens de lutte peuvent être associés à ceux décrits précédemment. La lutte par suppression des mâles (MAT) permet de les piéger et de les tuer grâce à un mélange attractif sexuel-insecticide. La lutte autocide (SIT) est basée sur la stérilisation des mâles par radiations ionisantes ou chimiostérilisation pour les relâcher ensuite en masse dans le milieu naturel (compétition pour la reproduction). Les méthodes culturales sont également indispensables afin d'abaisser les populations de mouches en dessous du seuil de nuisibilité\*. Une méthode de prophylaxie\* consiste à collecter et détruire les fruits infestés, les plantes réservoirs, ...

### 3) Vers une gestion agroécologique des populations de mouches :

La notion d'agroécologie n'est apparue qu'à partir des années 1970 avec la naissance du terme agroécosystème (AES) (Harper, 1974). L'agroécologie a pour définition l'étude des interactions entre plantes, animaux, homme et environnement à l'intérieur des agroécosystèmes (Dalgaard *et al.*, 2003).

Le principe fondateur de la gestion agroécologique d'un agrosystème est de restaurer la biodiversité en s'inspirant des systèmes naturels afin de se rapprocher du fonctionnement des écosystèmes naturels (Nicholls & Altieri, 2004). Les principes à suivre sont (1) de conserver les ressources, (2) de minimiser l'utilisation d'intrants chimiques, (3) de gérer l'agrosystème à plusieurs échelles (exploitation, communauté, régional, national) avec des techniques appropriées, (4) de s'ajuster à l'environnement local et le diversifier, (5) de mettre en priorité les avantages à long terme et (6) d'impliquer les gens (pratiques traditionnelles, savoirs locaux...). On considère que c'est la diversité des espèces qui explique le plus largement la stabilité et la durabilité des écosystèmes naturels (Dupraz, 2006), qu'on a souvent traduit par la règle des 5M « Making Mimics Means Managing Mixtures » (imiter la Nature impose de mélanger les espèces). Dans ce contexte, la diversité végétale joue un rôle central et les pratiques culturales qui permettent de la promouvoir représentent les bases de la gestion des habitats (Gurr *et al.*, 2004).

Dans le cas de la gestion de ravageurs, tels que les Dacini, la conception d'AES défavorables à long terme au développement des ravageurs et moins vulnérables à leurs invasions, infestations et pullulations repose sur l'élaboration de solutions d'ordre écologique (Lewis *et al.*, 1997). La santé des cultures et la stabilité de la production résultent d'un équilibre écologique entre les cultures, le sol, les nutriments, la lumière l'humidité et les divers composants de la biocénose (Deguine *et al.*, 2008). Pour rendre l'agroécosystème peu sensible aux ravageurs, les agroécologues s'appuient sur deux principales bases de travail visant à se

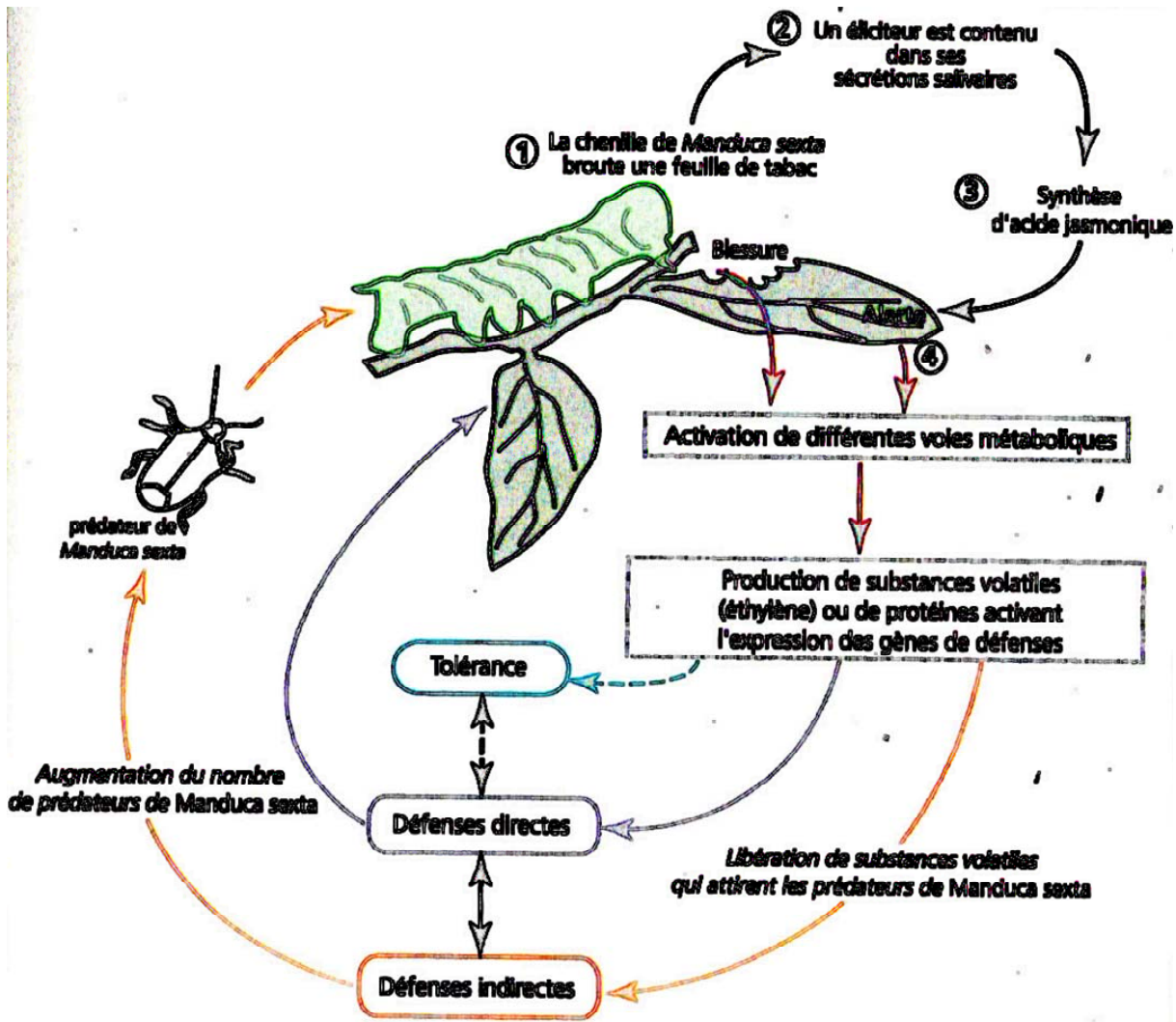


Figure 17 : Cascade de réaction après attaque d'une chenille de *Manduca sexta* (un papillon, sphynx) sur une feuille de tabac (d'après Kessler et Baldwin, Annu. Rev. Plant. Biol., 53, 2002)

rapprocher des écosystèmes naturels, exemples de systèmes durables : l'incorporation de diversité végétale au sein de l'agroécosystème et l'amélioration de la qualité des sols (Altieri, 1999). En effet, les sols riches en matière organique et ayant une bonne activité biologique ont en général une bonne fertilité et présentent un complexe d'arthropodes bénéfiques, permettant de prévenir des infestations de ravageurs (Magdoff & Van Es, 2000 ; Altieri & Nicholls, 2004). La voie de l'incorporation de diversité végétale est également privilégiée, puisque contrairement à des monocultures, les agroécosystèmes diversifiés sont plus stables, plus durables et plus respectueux de l'environnement (Van Emden & William, 1974 ; Vandermeer, 1995). Diverses techniques d'incorporation de biodiversité végétale sont possibles, notamment les bandes enherbées largement utilisées en Suisse (Nentwig, 1998) et les plantes de bordures. Ce sont des plantes placées au pourtour des champs pouvant servir de zones de refuges pour des arthropodes utiles, ou de zones de traitement par taches d'insecticides. Les plantes de bordures constituent un modèle d'incorporation de diversité végétale pertinent pour la gestion des Dacini.

Le CIRAD, en partenariat avec de nombreux acteurs du monde agricole et de gestion des espaces, a conçu un projet de gestion agroécologique des mouches des légumes à La Réunion : le projet GAMOUR qui démarre en 2009.

## V- Les mécanismes de défense chez les plantes face aux insectes

La diversité des réponses des plantes aux insectes fait l'objet de nombreuses recherches en agronomie dans le but de développer des mécanismes de résistance efficaces et durables. Par les interactions et la coévolution avec les insectes herbivores, les plantes ont en effet développé différents mécanismes de lutte contre les attaques d'insectes (Chen, 2008) (un exemple est présenté figure 17). Il existe trois types principaux de résistance incluant ces différents mécanismes de défense (Wiseman & Davis, 1979 in Vayssières, 1999) : (1) la **non préférence (antixénose)** concernant le comportement de l'insecte, c'est-à-dire la réaction de rejet de l'insecte induit par un jeu de stimuli (visuels, olfactifs, tactiles) lors de l'alimentation ou de l'oviposition (Sharmar & Vidya Sagar, 1994) ; (2) l'**antibiose** qui est une action sur le développement physiologique de l'insecte induisant des effets négatifs pour le ravageur : diminution de taille, fécondité faible, mortalité anticipée,... ; (3) la **tolérance** c'est-à-dire la capacité d'une plante à se développer normalement malgré l'attaque d'un phytophage. C'est un mécanisme intéressant en agronomie, car il n'exerce pas de pression sélective sur la population de ravageurs.

Il existe deux niveaux de défense de la plante face aux insectes : le premier est **constitutif**, avec ses barrières physiques et chimiques existant avant l'attaque. Le second renferme les mécanismes mis en place après l'attaque (**résistance induite**). L'effet de certaines défenses constitutives peut néanmoins être accru après l'attaque de l'insecte.

Pour beaucoup de plantes, ce sont les barrières physiques qui jouent un rôle majeur dans la régulation des dommages causés par un herbivore (Massey et al., 2007). Ce sont par exemple l'épaisseur et la dureté des parois cellulaires, la présence de cires, d'épines, de poils ou encore de trichomes (Kellogg et al., 2002)

Les mécanismes de défense constitutive font aussi appel à des phytoanticipines avec par exemple des alcaloïdes (nicotine, morphine), des terpènes (l'arôme des épices) ou des composés phénoliques (tannins) (Macheix et al., 2005 ; Shoonhoven et al., 1998).



La mise en place de défenses induites repose sur trois étapes : la surveillance, la transduction d'un signal et la production de défenses chimiques. La première étape est la détection de l'attaque grâce à des signaux de reconnaissance spécifiques appelés éliciteurs\* (présents par exemple dans la salive de l'insecte). Ces signaux sont ensuite transmis à travers une cascade de transduction\* et conduisent éventuellement à la production de défenses chimiques.

Il existe deux types de défenses induites : les **défenses directes** et les **défenses indirectes**. Les premières incluent tous les « traits » de la plante qui affectent eux-mêmes sa sensibilité aux attaques d'insectes. Les secondes constituent pour les attractifs des ennemis naturels des insectes nuisibles.

Les **modifications métaboliques** qui, dans toutes les espèces végétales, participent à la lutte contre l'infection se retrouvent systématiquement dans trois grandes catégories de réactions : une **stimulation de certaines voies métaboliques secondaires**, le **renforcement des parois** et la production de toute une gamme de **protéines de défense**.

Les métabolites secondaires jouent un rôle essentiel en permettant notamment la production des phytoalexines\*, des petites molécules de natures chimiques variées ayant un large spectre d'activité antifongique ou antibactérienne. Des phytohormones\* comme l'acide salicylique, l'acide jasmonique (Cooper & Goggin, 2005 ; Rodriguez-Saona & Thaler, 2005) ou l'éthylène interviennent dans la résistance des plantes. De nombreuses études ont démontré que l'acide salicylique est un signal intracellulaire important dans la voie de transduction menant à la résistance locale ou systémique\* (de toute la plante) (Campbell & Reece, 2007). Sous l'effet des agresseurs, la plante peut aussi déclencher une **réaction d'hypersensibilité**, c'est-à-dire la mort rapide des cellules au site d'attaque. Cela limite l'expansion de l'herbivore qui meurt ensuite de faim (Chen, 2008).

Il existe peu d'études sur les mécanismes de défense face aux attaques des Tephritidae. Les exemples les plus documentés concernent le citron (Greany et al., 1983 et 1985). Trois critères seraient impliqués : (1) le comportement de la mouche lors de l'oviposition, (2) la teneur en huiles de la peau du fruit et (3) la dureté de cette dernière. Plusieurs études ont montré que les huiles de la peau du citron étaient toxiques pour les œufs et les larves de *C. capitata* (Bodenheimer, 1951 ; Ortu, 1978). C'est plus l'abondance de ces huiles plutôt que leur composition qui influence la sensibilité de la plante aux mouches. Chez la pomme, Pree (1977) a trouvé une corrélation entre la résistance et la teneur total en composés phénoliques ou encore en acides gallique, tannique et o-coumarique. Ensuite, chez la papaye, Seo et al. (1982 et 1983) ont montré que *C. capitata* était incapable d'attaquer les fruits immatures à cause d'un latex mais aussi par la présence de linalol et de benzyl isothiocyanate (BITC).

En ce qui concerne les Cucurbitaceae, Cheema (1964) a constaté une corrélation entre la résistance aux piqures de *B. cucurbitae* et la dureté de l'écorce du melon. Chelliah & Sambandam (1971) ont également montré que le facteur de résistance du melon à *B. cucurbitae* était dû à une plus grande dureté de la peau induite par une teneur en silice importante. Mais ces phénomènes de résistance ne seraient pas uniquement dus à des critères d'ordres physiques. Chelliah & Sambandam (1974) ont suggéré que des caractéristiques chimiques, particulièrement une haute concentration en cucurbitacines et en composés phénoliques et une faible concentration en sucre et en acides gras organiques, étaient des facteurs de résistance à la Mouche du





melon. L'oviposition de divers insectes peut également servir d'éliciteur de mécanismes de résistance de la plante et déclencher des réponses de défense directe (réaction hypersensible, formation de néoplasme ou encore dissuasion de l'oviposition) et des réponses de défense indirecte (production de synomones\* pour attirer des prédateurs et parasitoïdes) (Hilker & Meiners, 2002 et 2006)

D'après Gilles (2008), la croissance du chou chou ne serait pas affectée par les piqûres des mouches des Cucurbitaceae. A l'Entre-Deux, les dégâts sur le chou chou seraient beaucoup moins importants que sur la citrouille et la courgette. Il a observé des réactions de défense (croûte en surface, cavité interne séparant les larves de la pulpe), causes possibles des difficultés des mouches des Cucurbitaceae à réaliser leur cycle de développement. La réaction d'hypersensibilité pourrait peut-être intervenir chez le chou chou et l'aiderait à se protéger des attaques de certaines mouches des légumes de même que le jus « laiteux » qu'on aperçoit lorsque le fruit est blessé ou piqué.

## **VI- Problématique et objectifs de l'étude**

### **1) Problématique :**

La protection des cultures contre les mouches, qui a longtemps reposé sur une base agrochimique, est aujourd'hui à la croisée des chemins à cause des nombreux risques provoqués par ces pratiques. Il est maintenant nécessaire de développer d'autres procédés. Les méthodes de lutte n'ont généralement intégré que de la lutte biologique et chimique dans une démarche curative. L'enjeu actuel serait de passer à une démarche de prévention des infestations de mouches, basée sur un fonctionnement écologique plus équilibré et durable des agrosystèmes. Cette approche s'appuie sur une gestion agroécologique des communautés végétales (plantes cultivées et non cultivées) et animales (insectes ravageurs, utiles, pollinisateurs) à des échelles de temps, d'espace et de gestion élargies (Deguine et al, 2008).

La bioécologie des Dacini a été en grande partie décrite et a fait l'œuvre de certains travaux (Vayssières, 1999). Cependant, des lacunes persistent au niveau des relations entre les Dacini et la culture de chou chou (Gilles, 2008). Afin d'envisager une gestion durable des populations de mouche, il est donc nécessaire d'acquérir et d'approfondir les connaissances à leur sujet.

### **2) Objectifs de l'étude :**

L'objectif principal de cette étude est d'acquérir des connaissances sur la bioécologie des mouches sur chou chou, en vue de proposer une protection agroécologique des cultures, notamment sur les rythmes circadiens, les activités des mouches, leur localisation et sur les dégâts, qualitatifs et quantitatifs, qu'elles provoquent.

Les objectifs secondaires sont l'étude des hypothèses mises en avant à partir d'observation préliminaires : les mécanismes de défense du chou chou (Gilles, 2008) et le devenir des piqûres de certaines espèces de Mouches des fruits, notamment *Ceratitis Rosa* (Deguine, 2008, communication personnelle).



### 3) Dispositif expérimental :

Pour répondre à ces objectifs, plusieurs dispositifs, complémentaires, seront mis en place :

- Etudes en champ : Les observations de terrain seront réalisées sur 3 parcelles de chou chou (Salazie, Entre-Deux et Tan-Rouge). On déterminera la nature et le rythme circadien des activités des Dacini. Les rythmes de déplacements des mouches entre les bordures et les cultures, ainsi que leur comportement seront observés, pour chaque espèce et genre, toutes les heures au cours de la journée (de 7h à 18h). Outre leur activité et localisation sur la parcelle, on notera leur position sur les organes des plantes.
- En cage : Des expériences sur des mouches issues d'élevage permettront d'identifier leur taux de développement sur le chou chou.
- Au laboratoire : Les travaux au laboratoire porteront sur la présence larvaire des espèces de mouches et leur importance relative dans les fruits piqués. Cela servira aussi à déterminer la proportion des piqûres correspondant à des pontes et les dégâts qu'elles provoquent. Enfin, la mise en émergence de fruits piqués permettra l'identification et le sexage des adultes après pupaison.



## LEXIQUE

-Agrosystème : écosystème construit ou modifié par l'homme pour l'exploitation agricole d'espèces animales et végétales à des fins alimentaires (champs céréaliers, élevages bovins, ovins, ...), industrielles (production de sucre à partir de la betterave) ou énergétiques (production de biocarburant).

-Auxiliaire : organisme vivant, prédateur, parasite ou pathogène, utilisé pour réguler les populations de ravageurs.

-Eliciteur : Substance porteuse de messages capable de déclencher des réactions biochimiques et physiologiques cellulaires de la plante.

-Exocarpe : partie la plus externe, peau du fruit.

-Holométabole : s'applique aux insectes présentant des métamorphoses complètes et un stade nymphal bien différencié

-Lek : réunion des mâles de certaines espèces animales, dans une compétition de séduction afin de déterminer les prérogatives pour l'accouplement.

-Monoïque : plante dont les fleurs unisexuées distinctes, mâles et femelles, se situent sur le même pied.

-Nympheose : phase de la métamorphose au cours de laquelle une larve d'insecte se transforme en nymphe.

-Ovipositeur : organe de ponte des femelles insectes et acariens, tubulaire ou valvulé, situé à l'extrémité de l'abdomen, permettant de déposer l(es) œuf(s) dans un endroit précis.

-Paraphéromone : Phéromone sexuelle

-Parasitoïde : organisme qui se développe aux dépens d'un autre et qui entraîne inévitablement sa mort.

-Parasitoïde larvo-pupal : parasitoïde qui s'attaque aux larves de son hôte et les laisse se développer jusqu'au stade préupal avant de dévorer la pupe et d'en émerger.

-Phéromone : substance volatile émise par un insecte à l'extérieur et qui, par ses propriétés chimiques constitue un signal pour une partenaire sexuel ou un congénère de sa propre espèce

-Polyphage : qui se nourrit sur une large gamme d'organismes, dont les hôtes ou les proies sont nombreux et différents.

-Phytoalexines : antibiotiques végétaux produits par la plante suite à une infection ou un stress.

-Phytohormone : hormone produite par la plante vectrice d'informations et participant à la régulation de la croissance du végétal, à la communication entre individu, à la mise en place de mécanisme de défense,...

-Prophylaxie : ensemble des moyens des moyens destinés à prévenir l'apparition, la propagation ou l'aggravation d'une maladie ou d'un ravageur.



-Pupaison : chez les diptères, formation de la pupe.

-Résistance systémique : assimilé à l'immunité de la plante suite au déclenchement de la réponse hypersensible. Une attaque locale va conduire à une réponse globale de la plante.

-Rythme circadien : Période cyclique de changements biologiques basée sur une période d'environ 24 heures

-Seuil de nuisibilité ou seuil économique : la densité de population de ravageurs à laquelle la mesure de contrôle doit être prise pour empêcher la population de causer un dégât économique.

-Tergite : 1. Sclérite dorsale d'une segmentation du corps d'un insecte. 2. Subdivision sclérifiée d'un de ces sclérites

-Traitement par taches : application d'un mélange attractif-insecticide sur une partie seulement de la culture ou les bandes enherbées qui l'entourent.

-Vivipare : 1. Zoologie : espèce dont l'embryon se développe à l'intérieur du corps de la mère, qui donne naissance à des jeunes déjà formés. 2. Botanique : plante dont les graines germent sur la plante-mère, qui produit des bourgeons qui se détachent de la plante-mère et reproduisent l'espèce.

#### **SIGLE :**

-CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.





## REFERENCES

- **AGRESTE, 2007.** Mémento statistique agricole. La Réunion (résultats 2006). Direction de l'agriculture et de la forêt de La Réunion.
- **ALTIERI M.A., 1999.** *The ecological role of the biodiversity in agroecosystems.* Agriculture, Ecosystems and Environnement 74. pp 19-31.
- **ALTIERI M.A. & NICHOLLS C.I., 2004.** *Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems.* Food Products Press, Binghamton, NY, USA, 236 p.
- **ALUJA M. & NORRBOM A.L., 2000.** *Fruit flies (Tephritidae): Phylogeny and Evolution of Behavior.* CRC Press, Washington DC. Pp39-54.
- **ATIAMA T., 2008.** *Interactions entre les mouches des Cucurbitaceae et les plantes de bordures dans les systèmes horticoles de la Réunion.* Rapport de stage en Master recherche 2<sup>ème</sup> année. Université de La Réunion. Saint Denis. 40p.
- **BALIRAIN F.N., BONIZZONI M., GUGLIELMINO C.R., OSIR E.O., LUX S.A., MULAA F.J., GOMULSKI L.M., ZHENG L., QUILICI S., GASPERI G & MALACRIDA A.R., 2004.** *Population genetics of the potentially invasive African fruit fly species, Ceratitis rosa and Ceratitis fasciventris (Diptera: Tephritidae).* Molecular Ecology, 13. pp 683-695.
- **BATEMAN M.A., 1972.** *The ecology of fruit flies.* Annual Review of Entomology 17. pp 493-518.
- **BATEMAN M.A., BOLLER E.F., BUSH G.L., CHAMBERS D.L., ECONOMOPOULOS A.P. & FLETCHER B.S., 1976.** *Fruit Flies.* In : Studies in biological control, Ed. Delucchi V.L., 1 : 11-49. Cambridge Univ. Press. 304p.
- **BODENHEIMER F.S., 1951.** *Citrus Entomology in the Middle East.* W. Junk Pub Co. The Hague. 661p.
- **BONIZZONI M., MALACRIDA A.R., GUGLIELMINA C.R., GOMULSKI L.M. & ZHENG L., 2000.** *Microsatellite polymorphism in the Mediterranean fruit fly Ceratitis capitata.* Insect Molecular Biology, 9. pp 251-261.
- **BREVAULT T., 1999.** *Mécanismes de localisation de l'hôte chez la Mouche de la tomate, Neoceratitis cyanescens (Bezzi) (Diptera : Tephritidae).* Thèse de Doctorat. Ecole Nationale supérieure agronomique de Montpellier. Montpellier. 139p.
- **CAMPELL N.A. & REECE J.B., 2007.** *Biologie.* 7ème edition. Pearson Education. 1312p.
- **CHAMBRE D'AGRICULTURE, 2006 et 2007.** Saint Denis de la Réunion.
- **CHEEMA M.A., 1964.** *Study of resistance in musl melon varieties against the infestation of Dacus cucurbitae Coq.* J. Sci. 16. Pakistan. pp 154-160.
- **CHELLIAH S. & SAMBANDAM C.N., 1974.** *Mecanism of resitance in Cucumis callosus (Rottl.) Cogn. to the fruit fly Dacus cucurbitae (Diptera Tephrotidae)I.* Non preference. Ind. Journal of. Entomology 36. pp 98-102.



- **CHELLIAH S. & SAMBANDAM C.N., 1971.** *Rôle of certain mechanical factors in Cucumis callosus (Rottl.) Cogn. In imparting resistance to Dacus cucurbitae Coq.* Auara 3. pp 48-53.
- **CHEN M.S., 2008.** *Inducible direct plant defense against insect herbivores : A review.* Insect Science 15. pp101-114.
- **CIRIO U., 1971.** *Reperti sul meccanismo stimolo-riposta nell' ovideposizione del Dacus olea Gmelin (Diptera, Trypetidae).* Redia 52. pp577-600.
- **COOPER W.R. & GOGGIN L., 2005.** *Effects of jasmonate-induced defenses in tomato on the potato aphid, Macrosiphum euphorbiae.* Entomol. Exp. Appl. 115. pp 107-115.
- **DALGAARD T., HUTCHINGS N.J., PORTER J.R., 2003.** *Agroecology, scaling and interdisciplinary.* Agriculture.Ecosystems and Environment 100. pp 39-51.
- **DEGUINE J.P., FERRON P. & RUSSELL D., 2008.** *Protection des cultures : de l'agrochimie à l'agroécologie, concepts et pratiques, application au cotonnier.* Editions QUAE.
- **DEHECQ J.S., 1995.** *Etude du comportement sexuel et de la communication phéromonale chez trois Tephritidae de la Réunion: Dacus ciliatus Loew, Dacus demmerezi (Bezzi) et Trirhithromyia cyanescens (Bezzi).* Mémoire de fin d'études : CESA / ENSAM 41p.
- **MAGDOFF F. & VAN ES H., 2000.** *Building Soils for better Crops.* SARE, Washington, D.C.
- **DE MEYER M., 2001.** *On the identity of the Natal fruit fly Ceratitis rosa Karsch (Diptera: Tephritidae).* Entomologie, 71.
- **DE MEYER M., COPELAND R.S., WHARTON R.A. & MC PHERON B.A., 2004.** *On the geographic origin of the Medfly Ceratitis capitata (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae).* In Proceedings of the 6th International Fruit Fly Symposium. Stellenbosch, South Africa. pp 45-53.
- **DREW R.A.I, HOOPER G.H.S. & BATEMAN M.A., 1982.** *Economic Fruit Flies of the South Pacific Region.* Qld Dept Primary Ind. 2<sup>nd</sup> ed. Brisbane, Australia. 139p.
- **DREW R.A.I., 1989.** *The tropical fruit flies (Diptera: Tephritidae:Dacinae) of the Australian and Oceanian regions.* Memoirs of the Queensland Museum 26: 1–521.
- **DUPRAZ C., 2006.** *Entre agronomie et écologie : vers la gestion d'écosystèmes cultivés.* In : Déméter 2006. Economie et stratégies agricoles. Club Déméter, Paris. pp 73-89.
- **DUYCK P.F., 2005.** *Compétition interspécifique et capacités invasives. Le cas des Tephritidae de l'île de La Réunion.* Thèse de doctorat, Université de la Réunion. 93p.
- **ENCYCLOPEDIA UNIVERSALIS, 1989.** Corpus 6. Cucurbitaceae. pp 922-925.
- **ENGELS J.M.M. & JEFFREY C., 1993.** *Plant Ressources of South-East Asia. Sechium edule.* Vegetables No.8. Pudoc Scientific Publishers, Wageningen. pp246-248.
- **ETIENNE J., 1982.** *Etude systématique, faunistique et écologique des Tephritidae de la Réunion.* Thèse de doctorat, Ecole Pratique Hautes Etudes. Paris. 100p.



- **ETIENNE J., 1974.** *Rapport de mission aux Comores (18-31 janvier 74)*. Document IRAT-Réunion 44. 6p.
- **ETIENNE J., 1972.** *Les principales Tripétides nuisibles de l'île de La Réunion*. Annales de la société entomologique de France (N.S.) 8. pp 485-491.
- **ETIENNE J., 1968.** *Lutte contre les mouches des fruits à La Réunion*. Compte-rendu de la communication à l'assemblée générale de l' O.I.L.B. du 26 mars 1968. Document IRAT-Réunion. 6p.
- **FISHER J.B. & EWERS F.W., 1991.** *Structural responses to stem injury in vines*. In : Putz F.E. & Mooney H.A. (Eds) *The Biology of Vines*. Cambridge University Press, Cambridge. Pp 99-104.
- **FLETCHER B.S., 1979.** *The over-wintering survival adult of the Queensland fruit fly, Dacus Tryoni, under natural condition*. J. Zool. 27. Aust. Pp401-411.
- **FLETCHER B.S. & KAPATOS E.T., 1983.** *The influence of temperature, diet and olive fruits on the maturation rates of females olive flies at different times of the year*. Entomol. Exp. Appl. 33. pp99-107.
- **FULLAWAY D.T., 1920.** *The melon fly: its control in Hawaii by a parasite introduced from India*. Hawaiian Forester and Agriculturist, 17. pp 101-105.
- **GAUSSEN H., LEROY J.F. & OZENDA P., 1982.** *Précis de botanique*, t.2. Masson (Ed), Paris.300p.
- **GILLES B., 2008.** *Bioécologie et dégâts des mouches des légumes (Diptera, Tephritidae) en culture de chouchou (Sechium edule) à La Réunion*. Rapport de Master recherche 2<sup>ème</sup> année, Université François-Rabelais de Tours. 42p.
- **GREANY P.D., SHAW P.E., DAVIS P.L. & HATTON T.T., 1985.** *Senescence-related susceptibility of Marsh grapefruit to laboratory infestation by Anastrepha suspensa (Diptera: Tephritidae)*. Florida Entomologist 68. pp 144-150.
- **GREANY P.D., STYER S.C., DAVIS P.L. SHAW P.E. & CHAMBERS D.L., 1983.** *Biochemical resistance of citrus to fruit flies: Demonstration and elucidation of resistance to the Caribbean fruit fly, Anastrepha suspensa*. Entomol. Exp. Appl. 34. pp 40-50.
- **GURR G.M., WRATTEN S.D. & ALTIERI M.A., 2004.** *Ecological engineering for enhanced pest management: towards a rigorous science*. In: *Ecological engineering for Pest Management*. Advances in Habitat Manipulation for Arthropods. Gurr G.M., Wratten S.D., and Altieri M.A (eds), CSIRO and CABI Publishings, Collingwood, VIC, Australia, and Wallingford, Oxon, UK. pp 219-225.
- **HARPER L.J., 1974.** *The need to focus on agro-ecosystems*. Agroecosystems, 1. pp 1-12.
- **HARRIS E.J., TAKARA J.M. & NISHIDA T., 1986.** *Distribution of melon fly, Dacus cucurbitae Coquillet (Diptera, Tephritidae), and host plant on Kauai, Hawaiian Islands*. Environmental Entomology 15. pp 488-493.
- **HILKER M. & MEINERS T., 2006.** *Early Herbivore Alert: Insect Eggs Induce Plant Defense*. Journal of Chemical Ecology 32. pp 1379-1397.



- **HILKER M. & MEINERS T., 2002.** *Induction of plant responses to oviposition and feeding by herbivorous arthropods: a comparison.* Entomol. Exp. Appl. 104. pp 181-192.
- **JEFFREY C., 1990.** *Systematics of the Cucurbitaceae: an overview.* In: Bates D.M., Robinson R.W. & Jeffrey C. (eds.). *Biology and utilisation of the Cucurbitaceae.* Cornell University Press, Ithaca, New York. pp 3-9.
- **JONES E.L., SKEPPER A.H., 1965.** *Suppression of Queensland fruit fly, Dacus tryoni (Frogg.), Trypetidae (Dip) in Narredera, New south Wales.* Agric. Gazette N.S.W., 76. pp 501-503.
- **KAWAI A. & YOSHIKARU T., 1981.** *Daily activity rhythms of the melon fly, Dacus cucurbitae Coquillett (Diptera, Tephritidae) under laboratory conditions.* Bull. Veg. Ornamental Crops Res. Stn. Jpn. Ser. C5. pp 75-78.
- **KELLOGG D.W., TAYLOR T.N. & KRINGS M., 2002.** *Effectiveness in defense against phytopagous arthropods of the cassabanana (Sicana odorifera) glandular trichomes.* Entomol. Exp. Appl. 103. pp 187-189.
- **KUBA & KOYAMA., 1985.** *Mating behaviour of wild melon flies, Dacus cucurbitae Coquillett (Diptera: Tephritidae) in field cage: courtship behaviour.* Application Entomology and Zoology 20. pp 365-372.
- **LEWIS W.J., VAN LENTEREN J.C., PHATAK S.C. & TUMLINSON J.H., 1997.** *A total system approach to sustainable pest management.* Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 94. pp 12243-12248.
- **MACHEIX J.J., FLEURIET A. & JAY-ALLEMAND C., 2005.** *Les composés phénoliques des végétaux.* Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne. 192p.
- **MAHER ALI A., 1957.** *On the bionomics of Dacus ciliatus Loew (Diptera Trypanaeidae).* Bulletin of the Entomological Society of Egypt, 41. pp 527-533.
- **MASSEY F.P, ENNOS A.R. & HARTLEY S.E., 2007.** *Herbivore specific induction of silica-based plant defences.* Oecologia 152. pp 6777-683.
- **MATANMI B.A., 1975.** *The biology of tephritid fruit flies (Diptera Tephritidae) attacking cucurbits at Ife Ife.* Nigerian Journal of Entomology, 1. Nigeria. pp 153-159.
- **Mc PHAIL M., 1939.** *Protein lures for fruit flies.* Journal of Economic Entomology, 32. pp 758-761.
- **MONNERVILLE K., BOC Y., JEAN-CHARLES O., DORNIER M., REYNES M., 2001.** *Principales caractéristiques de Sechium edule Sw.* Fruits 56. pp 155-167.
- **MUNRO H.K., 1984.** *A taxonomic treatise on the Dacidae (Tephritoidea, Diptera).* Entomology memoirs, Departement of Agriculture and Water Supply, Republic of South Africa, 61, ix +1-313.
- **NENTWIG W., 1998.** *Weedy plant species and their beneficial arthropods: potential for manipulation in field crops.* In Enhancing Biological Control. Habitat Management to promote Natural Enemies of Agricultural Pests (C.H.B Pickett and R.L. Buggs, eds), pp 49-71. University of California Press, Berkeley.





- **NEWSTROM L.E., 1991.** Evidence for the origin of chayote, *Sechium edule* (Cucurbitaceae). *Economic Botany* 45. pp 410-428
- **NICHOLLS C.I., ALTIERI M.A., 2004.** Agroecological bases of ecological engineering for pest management. In: Gurr GM, Wratten SD, Altieri MA (eds). *Ecological Engineering for Pest Management. Advances in habitat manipulation for arthropods*. CSIRO, Collingwood (Australia). CABI, Wallingford (UK). pp 33-54.
- **NISHIDA T. & BESS H.A., 1957.** Studies on the ecology and control of the melon fly *Dacus (Strumeta) cucurbitae* Coquillett (Diptera Tephritidae). Technical Bulletin N°84. Hawaii Agricultural Experiment Station.
- **ORIAN A.J.E. & MOUTIA L.A., 1960.** Fruit flies (Trypetidae) of economic importance in Mauritius. *Revue Agricole et Sucrière de l'île Maurice*. 39. pp 142-150.
- **ORTUS S., 1978.** Preliminary observations about the temporary resistance of fruits of some species of citrus fruit to the attacks of *Ceratitis capitata*. Wied. Report to the IOBC meeting on fruit fly biology and control, held in Sassari, Italy, spring of 1978.
- **PAULIAN R., 1953.** Recherches sur les insectes d'importance biologique à Madagascar. XII, les mouches des fruits. *Mémoire de l'Institut Scientifique de Madagascar, série E*, 3. pp 2-7.
- **POINTEL J.G., 1964.** Lutte contre les mouches des fruits. Rapport annuel IRAT-Réunion 76.
- **PREE D.J., 1977.** Resistance to development of larvae of the apple maggot in crap apples. *Journal of Economic Entomology* 70. pp 611-614.
- **PROKOPY R.J. & KOYAMA J., 1982.** Oviposition site partitioning in *B. cucurbitae*. *Entomol. Exp. Appl.* 31. pp 428-432.
- **QUILICI S., HURTREL B., MESSING R.H., MONTAGNEUX B., BARBET A., GOURDON F., MALVOTI A. & SIMON A., 2004.** Successful acclimatization of *Psytalia fletcheri* (Braconidae: Opiinae) for biological control of the melon fly, *Bactrocera cucurbitae* on Reunion Island. In: BARNES B.N. (eds). *Proceedings of the 6th international Symposium on Fruit flies of Economic Importance*. Stellenbosh, South Africa, 6-10 May 2002. Isteg Scientific Publication, Irene (RSA). pp 457-460.
- **ROBINSON R.W., & DECKER-WALTERS D.S., 1997.** *Cucurbits*. Crop production science in horticulture. Cab International, Wallingford. 226p.
- **RODRIGUEZ-SAONA C. & THALER J.S., 2005.** The jasmonate pathway alters herbivore feeding behaviour: consequences for plant defences. *Entomol. Exp. Appl.* 115. pp 125-134.
- **ROS J.P., GARIJO C., NAVARRO L. & CASTILLO E., 1996.** *Ensayos de campo con un Nuevo atrayente de embudo de mosca mediterránea de las frutas*. *P.San.Veg.Plagas*, 22. pp 151-157.
- **ROSSLER Y., 1989.** Insecticidal Bait and cover sprays. In "Robinson A.S and Hopper G [eds.], *Fruit flies, their biology, natural enemies and control*. Elsevier, Amsterdam". pp 329-336.



- **SHARMAR H.C. & VIDYA SAGAR P., 1994.** *Antixenosis component of resistance to sorghum midge, Contarinia sorghicola Coq.* In *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Ann. Appl. Biol. 124. pp 495-507.
- **SHOONHOVEN L.M., JERMY T & VAN LOON J..., 1998.** *Insect-Plant Biology: from physiology to evolution.* Chapman & Hall. Londres. 409p
- **SEO S.T., TANG C.S., SANIDAD S. & TAKENAKA T.H., 1983.** *Hawaiian fruit flies (Diptera: Tephritidae): variation of index of infestation with benzyl isothiocyanate concentration and color of maturing papaya.* Journal of Economic Entomology 76. pp535-538.
- **SEO S.T., FARIAS G.J. & HARRIS E.J., 1982.** *Oriental fruit fly: Ripening of fruit and its effect on index of infestation of Hawaiian papayas.* Journal of Economic Entomology 75. pp173-178.
- **SYED R.A., 1969.** *Studies on the ecology of some important species of fruit flies and their natural enemies in West Pakistan.* Pak. Commonw. Inst.Biol.Control Stn Rep., Rawalpindi. Farnham Royal,Slough, U.K.: Commonwealth Agricultural Bureau.12 p.
- **TAN K.H. & LEE S.L., 1982.** *Species diversity and abundance of Dacus (Diptera Tephritidae) in five ecosystems of Penang, West Malaysia.* Bulletin of Entomological Research 72. pp 709-716.
- **TIMOTHY J.N, 1993.** *New opportunities in the Cucurbitaceae.* Ed New Crops, Wiley, New York. pp 538-546.
- **VANDERMEER J., 1995.** *The ecological basis of alternative agriculture.* Annual Review of Ecological Systems 26. pp 210-224.
- **VAN EMDEM H.F. & WILLIAMS G.F., 1974.** *Insect stability and diversity in agroecosystems.* Annual Review of Entomology 19. pp 455-474.
- **VAYSSIÈRE J.F., 1999.** *Les relations insectes-plantes chez les Dacini (Diptera-Tephritidae), ravageurs des Cucurbitaceae à la Réunion.* Thèse de doctorat, Muséum d'Histoire Naturelle de Paris. 205p.
- **WEEMS H.V., 1964.** *Melon fly (Dacus cucurbitae Coquillet) (Diptera Tephritidae).* Entomology circular, Division of Plant Industry, Florida Department of Agriculture and Consumer Services 26. 2p.
- **WHITE I.E. & ELSON-HARRIS M.M., 1992.** *Fruit flies of economic significance: their identification and bionomics.* CAB. International, Wallingford, 601p.
- **WISEMAN B.R. & DAVIS F.M., 1979.** *Plant resistance to the fall armyworm.* The Fla. Entomol. 62 (2). pp 123-130.



# **ANNEXES**

## ANNEXE 1 : Les Cucurbitaceae

Les Cucurbitaceae sont des plantes dicotylédones qui sont surtout représentées sous les climats tropicaux et sub-tropicaux. Cette famille comporte plus de 800 espèces réparties en 118 genres (Jeffrey, 1990) qui regroupent, entre autres, les courges (courgettes, citrouilles et potirons), la pastèque, le concombre ou encore le melon.

La famille des Cucurbitaceae est divisée en deux sous-familles : les Zanonioideae (graines ailées) et les Cucurbitoideae (graines non ailées). Cette dernière est composée de huit tribus dont celle des Sicyoeae qui nous intéresse plus particulièrement puisqu'elle comprend l'espèce étudiée dans ce rapport : le chouchou (Gaussen et al, 1982 ; Robinson & Decker-Walters, 1997).

Les Cucurbitaceae possèdent un appareil végétatif aérien généralement herbacé, grimpant ou rampant (Gaussen et al, 1982 ; *Encyclopedia Universalis*, 1989). Une des caractéristiques de la famille est constituée par le « complexe axillaire » qui se différencie au niveau des nœuds et qui comprend une ou plusieurs feuilles, une vrille, une ou plusieurs inflorescences et/ou une ramification (Gaussen et al, 1982 ).

Il existe chez les fruits une forte diversité de formes et de tailles selon les espèces (allant du cornichon au potiron qui peut peser une centaine de kg) (Gaussen et al, 1982). Les graines présentes également une diversité de taille (de 5 à 20 mm de long) et contiennent toutes une amande concentrée en substances lipidiques (Timothy, 1993).

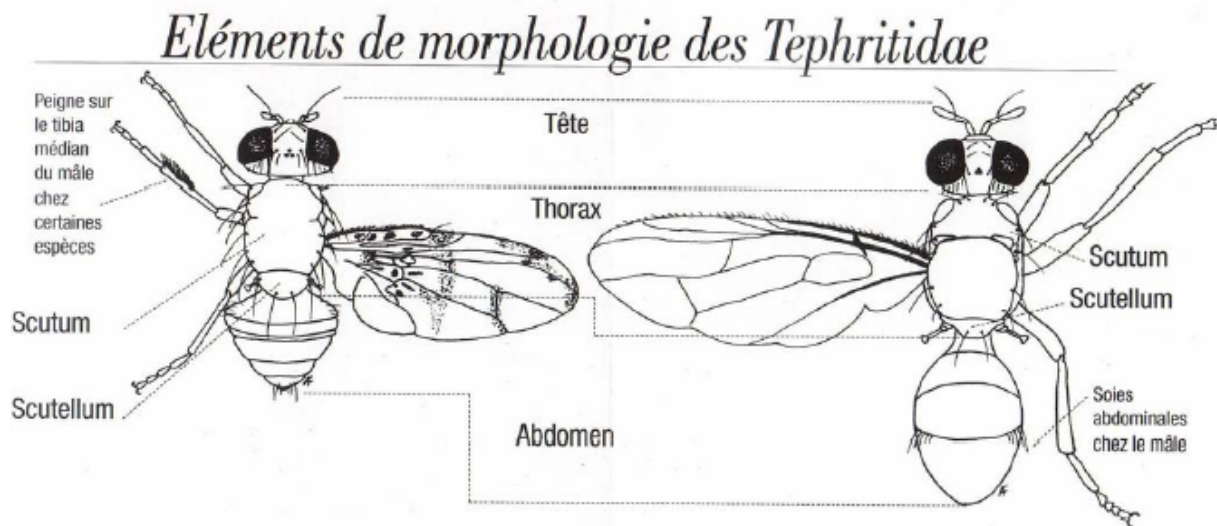
Les hommes ont été intéressés très tôt par ces fruits à cause de leur taille, leur croissance rapide, leur longue conservation et leur fort apport calorique (Robinson & Decker-Walters, 1997). Il n'est donc pas étonnant de trouver dans cette famille les plantes cultivées les plus anciennes.



Diversité des Cucurbitaceae (fr.wikipedia.org)

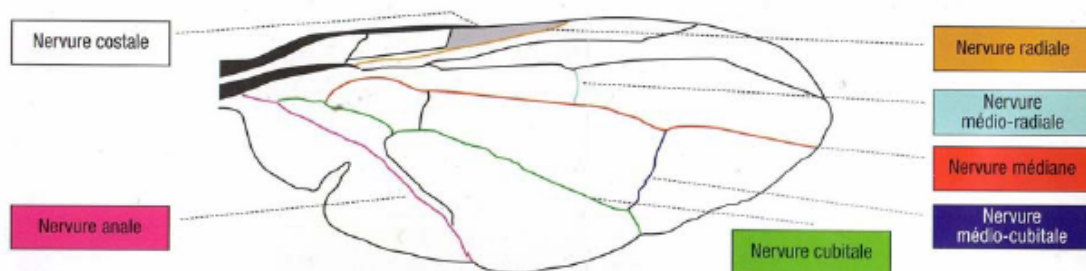
## ANNEXE 2 :

### Morphologie des Tephritidae (Quilici & Jeuffrault, 2001)



*Sous-famille des Ceratitinae*

*Sous-famille des Dacinae*



*Schéma général de la nervation d'une aile de Tephritidae*

## ANNEXE 3 : Reconnaissance des trois espèces de Mouches des Cucurbitaceae

### *-Bactrocera (Zeugodacus) cucurbitae :*



L'adulte, de couleur orangée, possède un scutum avec trois lignes médianes parallèles jaunes, deux bandes jaunes latérales et deux macules noires frontales. Les ailes portent des taches noires.

### *-Dacus (Didacus) ciliatus :*



L'adulte de couleur rouge-orangée porte deux macules noires frontales et deux soies scutellaires. Ses ailes sont transparentes avec une ligne costale noire qui se termine par une bande apicale.

### *-Dacus (Dacus) demmerezii :*



L'adulte est de couleur brune à brune-orangée, il porte deux macules noires frontales, deux soies scutellaires et une ligne latérale jaune remontant de la plaque latérale dorsale jusqu'au scutum. Les ailes sont caractérisées par une grande nervure sur laquelle est centrée une tache sombre diffuse.



## ANNEXE : 4

### Les Mouches des fruits impliquées ?

(Photos : A. Franck et D. Vincenot)



*Ceratitis capitata*



*Ceratitis rosa*



*Neoceratitis cyanescens*

## **Résumé :**

Les Mouches des Légumes (Diptera, Tephritidae) (*Bactrocera cucurbitae*, *Dacus demmerezi*, *Dacus ciliatus*), principaux ravageurs des cultures, apparaissent comme une menace pour la production de chouchou (*Sechium edule*) à La Réunion. Les méthodes de lutte classiques contre ces mouches reposent sur l'utilisation intensive d'insecticides chimiques mais ceux-ci s'avèrent être inefficaces et engendrent des problèmes environnementaux et sanitaires importants. Il est maintenant nécessaire de développer d'autres pratiques et de passer à une démarche de prévention des infestations de mouches, basée sur un fonctionnement plus écologique et durable des agrosystèmes. Des lacunes persistent cependant sur la connaissance des relations entre les Mouches des Légumes et la culture de chouchou. Notre étude est basée sur des observations en champ de chouchou et sur des expériences au laboratoire. Elle montre principalement que les mouches passent leur journée au repos sous la treille, ce qui diffère des observations réalisées dans les autres cultures de Cucurbitacées. L'infestation des cultures est régie par différents facteurs abiotiques et biotiques mais ce sont les pratiques culturales qui apparaissent comme les plus prépondérantes. En effet, deux parcelles, proches comme éloignées, présentent des infestations très distinctes lorsque les agriculteurs ont des pratiques différentes. Par ailleurs, le chouchou présente une certaine résistance face aux ravageurs puisque seule *D. ciliatus* parvient à mieux s'y développer. De plus, face aux faibles niveaux d'infestation des parcelles étudiées en général et compte tenu du développement difficile des mouches dans le fruit, il s'avère que les Mouches des Légumes ne sont pas les seules responsables des dommages et pertes de production en culture de chouchou. Enfin, lors de cette étude, des pontes de *Ceratitis rosa*, une espèce inféodée aux cultures fruitières, ont été observées au champ et son développement larvaire dans le chouchou a été confirmé au laboratoire. Les différents résultats demandent à être confirmés aussi bien au champ qu'au laboratoire. Sur le plan appliqué, ils permettent de donner des lignes directrices à la gestion des populations de Mouches des Légumes dans les agroécosystèmes à base de chouchou ; l'accent doit être mis sur les pratiques prophylactiques et agroécologiques alors que l'utilisation des bordures comme plantes pièges se révèle moins pertinente que pour les autres Cucurbitacées de plein champ.

**Mots clés :** Mouches des Légumes, chouchou (*Sechium edule*), La Réunion, interaction plante-insecte, agroécologie

## **Abstract :**

Tephritid fruit flies (Diptera: Tephritidae) (*Bactrocera cucurbitae*, *Dacus demmerezi*, *Dacus ciliatus*) are the most important pests on vegetables in Reunion Island and appear to threaten chayote (*Sechium edule*) production. Nowadays intensive use of chemicals is the only way to control those pests but it has demonstrated its inefficiency and damages both the environment and human health. It is now necessary to prevent infestations by fruit flies, rather than curing fruits, and to develop alternative solutions based on ecological and sustainable crop protection. For this, new knowledge on bioecology of fruit flies attacking chayote crop is needed. This study consists in field investigations and laboratory experiments. It showed that the chayote is a favourite roosting site during the day, which differs from observations made on other Cucurbits crops. Crops infestations are regulated by different biotic and abiotic factors, but cultural practices appeared to be the dominant factor inferring on fruit fly populations. Indeed, two crops, distant or not, had very different infestation levels when farmers had different cultural practices. Chayote had been observed as resistant fruit to fruit fly pests since only one species, *D. ciliatus*, successfully develop in it. As whole, the low levels of infestation observed and the difficulties of development for the fruit fly larvae showed that tephritid fruitflies might not be the only causes of damages and losses of production in chayote crop. In this study, egg laying of *Ceratitis rosa*, was observed, just as a larval development, whereas this fly species is known to attack fruits instead of vegetables. These results need to be confirmed by continuing the studies of in-situ fly populations but also in laboratory.

These results can provide guidelines for the chayote crop fruit flies management. We might focus on field sanitation and agroecological practices. Border plants lodge as trap plants appears to be less relevant compared to other Cucurbits crops.

**Key words:** Tephritid fruit fly, chayote (*Sechium edule*) Reunion Island, plant-insect interaction, agroecology